

LUCETTE DAVY

L'EBRE

ETUDE HYDROLOGIQUE

TOME II

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER III

— LE 13 JANVIER 1976 —

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE DE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1978



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LUCETTE DAVY

L'EBRE

ETUDE HYDROLOGIQUE

TOME II

THESE PRESENTEE DEVANT L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER III

— LE 13 JANVIER 1976 —

ATELIER
REPRODUCTION DES THESES
UNIVERSITE DE LILLE III
LILLE

DIFFUSION
LIBRAIRIE HONORE CHAMPION
7, QUAI MALAQUAIS
PARIS

1978

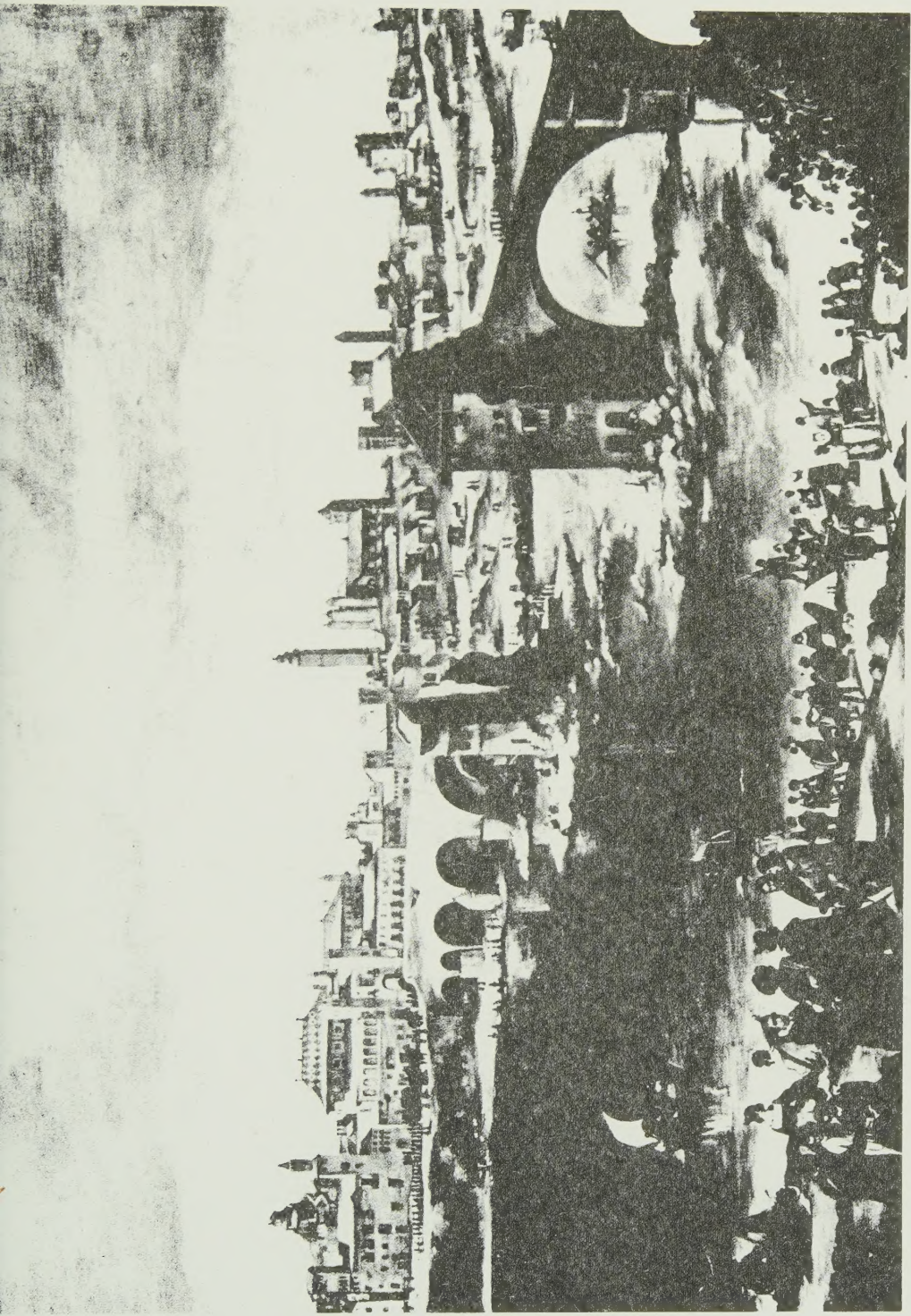


L'Atelier de Reproduction des Thèses décline toute responsabilité
touchant la qualité technique des documents qu'il reproduit.

La loi du 11 mars n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite" (alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal.

ISBN 2 - 7295 - 0091 - X

© Lucette DAVY, 1978



TROISIEME PARTIE

LES CRUES

INTRODUCTION

I/ LE DANGER DE CRUE DANS LE BASSIN DE L'EBRE -

Le voisinage d'une rivière, en particulier dans les pays méditerranéens, a presque toujours représenté pour les populations riveraines, à la fois une bénédiction et un grave danger pouvant se manifester de façon parfois aussi brutale qu'imprévisible. C'est bien le cas dans le bassin de l'Ebre, tout au long du fleuve lui-même et de ses affluents.

En effet, si les différentes artères du fleuve vivifient la steppe aragonaise et tempèrent la sécheresse catalane, elles n'en représentent pas moins, même de nos jours, un danger permanent pour les villages et les cultures de leurs fertiles vallées. Les graves inondations des hivers 1959-60 et 1960-61 dans la vallée moyenne et plus près de nous encore celles de novembre

1966, rappellent que le fleuve n'est pas encore totalement dompté et qu'il reste aujourd'hui encore une grave menace. Or, si l'on reste vigilant dans la cuvette aragonaise, il n'en est pas de même chez les habitants de la vallée inférieure où la méfiance s'est progressivement émoussée au fur et à mesure que s'éloignait le souvenir des catastrophes de 1907 et 1937, et que progressait la domestication des rivières les plus dangereuses. En effet, la mise en oeuvre d'une active politique énergétique, doublée d'un souci de mise en valeur et de véritable colonisation des terres, a transformé les affluents de la moitié est des Pyrénées en de véritables chapelets de lacs de retenue.

De fait, les crues étaient autrefois plus fréquentes et plus graves, et rares étaient les années où le fleuve ne causait pas de graves dégâts aux cultures de la région de Saragosse ou aux huertas des environs de Tortosa. Nous rappellerons brièvement ces grandes catastrophes avant de tenter une analyse de ces phénomènes à partir des crues actuelles pour lesquelles nous disposons de données plus sûres.

II/ LES GRANDES CRUES DONT ON A GARDE LE SOUVENIR -

a - Dans la région de Saragosse :

Une des plus anciennes crues dont il est fait mention dans les textes, est celle de 1380 qui entraîna un déplacement du cours de l'Ebre, et la formation, en face de Saragosse, des fameuses "Balsas de Ebro viejo", véritables marécages qui constituè-

rent longtemps un foyer d'insalubrité gênant le développement des faubourgs situés au-delà du fleuve.

- En 1397, le pont de bateau de "la Alcantara" déjà détruit en 1261, est à nouveau anéanti, ce qui décide les autorités à accélérer la construction du Pont de Pierre dont le chantier était déjà ouvert depuis au moins 60 ans. Désormais, le pont allait vivre au rythme des crues, et son histoire mouvementée, nous permet de retrouver les rythmes du fleuve lui-même.

- Dès 1445, le 5 août exactement, alors que le pont est terminé depuis 7 ans, une de ses arches, minée par une crue, s'effondre.

- Malgré diverses montées d'eau au cours du XVèmes siècles, l'édifice réparé semble avoir résisté jusqu'au jour où une inondation plus puissante que les autres emporta deux arches ainsi que les deux maisons construites dessus. Ces événements se produisirent le "Mercredi des Cendres" II février 1643, alors que Philippe II séjournait à Saragosse et ils furent si grave qu'ils mirent en danger une partie de la ville; On peut aujourd'hui se faire une idée de la situation grâce à deux documents d'un intérêt considérable : le tableau exposé au Prado intitulé : "Vue de Saragosse", de Mazo (y Velazquez), et la lettre d'un jésuite anonyme publiée avec d'autres documents semblables dans les tomes XIII et XIX du "Memorial Historico Espagnol". La "Vue de Saragosse" montre le Pont de Pierre après la crue, privé de ses deux arches centrales. Celles-ci auraient été emportées par les eaux lors de la montée du flot vers une heure ou deux heures de l'après-midi, soit un peu avant le maximum qui serait passé vers trois heures,

selon le manuscrit "Lumen domus" du couvent des prédicateurs de Saragosse. Quant à la lettre du Jésuite anonyme, elle nous apprend que le faubourg de l'Arrabal situé au-delà du fleuve fut ravagé par les eaux et les lavoirs à laine emportés. En aval, les villages de Sobradriel, Monzalbarba, Utebo, Pradilla, Pina, furent inondés. En amont de Saragosse, le pont de Tudela s'effondra ainsi que plusieurs maisons de Gallur. Au total on estima les dommages à deux millions, et le nombre des morts fut considérable. La catastrophe fut attribuée à une brusque montée de température qui aurait entraîné une fonte brutale de la neige. A noter que ce brusque redoux au cœur de l'hiver eut certainement pour cause l'établissement d'un régime océanique lequel fut obligatoirement accompagné de pluies intenses et tièdes accélérant la fusion nivale. C'est à la suite de ces événements que fut décidée la construction, menée à bien de 1705 à 1722 du mur de protection de la ville, et d'un nouveau pont dit de "Tablas" qui fut achevé en 1644. Après deux siècles à peine d'une histoire quelque peu mouvementée, en 1800, le "Puente de Tablas", miné par les crues, devait s'effondrer à son tour.

Auparavant il avait assisté aux graves inondations de 1707 et 1738, causées par la montée des eaux du Gallego. Bien que cette rivière conflue en aval de Saragosse, ses crues lorsqu'elles sont assez puissantes déterminent une montée des eaux de l'Ebre au niveau de la ville en provoquant un effet de barrage qui empêche le flot de s'écouler normalement vers l'aval.

Le XIXème siècle devait connaître à son tour une série de catastrophes, parmi lesquelles celle de 1871, la plus spec-

taculaire, la plus dramatique, et que nous évoquerons un peu plus longuement. Auparavant, signalons pour cette période les inondations de 1805, 1829 et septembre 1855, ces deux dernières liées à une montée du Huerva ou "Huervada" dont les eaux provoquèrent sur le fleuve un barrage semblable à celui crée parfois par les crues du Gallego.

Mais de toutes les inondations dont on a gardé le souvenir, celle qui causa les dégats les plus graves en Aragon comme en Catalogne, fut celle de janvier 1871. Elle eut pour cause des pluies à la fois abondantes et persistantes qui accélérèrent sur la montagne pyrénéenne et cantabrique, la fusion d'énormes masses de neige. Il s'agit donc là, comme ce fut le cas très certainement en février 1643, de ce que nous appellerons une crue océanique d'hiver, crue venue certainement du haut bassin et de l'Aragon. En effet, le Huerva et le Gallego sont légèrement gonflés, mais ne semblent pas avoir posé de problèmes aux habitants de leur vallée. Par contre, à Saragosse, au matin du 13 janvier, les eaux arrivaient à 5 m du château de la Aljateria, et au niveau du Pont de Pierre, elles s'élevaient à 150 mètres au-dessus de l'anneau de fer qui marquait la hauteur atteinte par la plus grosse crue connue. Il était d'usage en effet de marquer ainsi la hauteur maximale atteinte par les eaux (1). La situation ce jour là fut aggravée par les troncs d'arbres, meubles, objets di-

(1) De nos jours un de ces anneaux subsiste sur la première pile du Pont de Pierre. Il signale le niveau maximum atteint lors de la crue de 1887.

vers charriés par le fleuve . Devant la menace d'un déferlement des eaux l'émotion dans la ville et les faubourgs est telle que les autorités font poster des pièces d'artillerie en vue de faire sauter le pont si la situation continue à s'aggraver. Heureusement, les eaux se mirent à baisser avant qu'on en vienne à cette extrémité. Mais dans la campagne, la situation tournait au désastre. L'Ebre couvrait toute la plaine, détruisant des villages entiers, emportant dans ses eaux boueuses, meubles, décombres de maisons, cadavres d'hommes et d'animaux. Tout au long du cours moyen, les dégâts furent incalculables, et à Saragosse on garda longtemps de ces événements un souvenir épouvanté.

Bien que plus proche de nous, la crue de 1930 doit être mentionnée dans le cadre des crues anciennes, dans la mesure où nous ne possédons aucun hydrogramme permettant d'en faire une étude détaillée. Cependant les données pluviométriques et hydrométriques commencent à cette époque à se multiplier, permettant une approche plus précise de phénomènes.

Dans son "Mapa agronomico nacional", Jornada de Pozas considère qu'il s'agit là de la plus forte crue enregistrée à Saragosse jusqu'en 1948, date de la rédaction de son ouvrage. De fait, avec un maximum de 3380 m3/s cette crue est la deuxième du XXe siècle (après celle de 1961). Au long du Pont de Pierre, elle a couvert l'anneau jalonnant la dernière grande crue, celle de 1887. Et il semble bien que la catastrophe ait atteint l'ampleur de celle de 1871.

La cause de cette énorme poussée réside dans les pluies abondantes et prolongées qui ont affecté le Nord-Ouest du bassin. A Burguete par exemple, au pied du col de Roncevaux, on enregistra 31 mm

le 11, 78 mm le 12 et 116 mm le 13 mars. Cette pluie, accompagnée d'une hausse considérable de la température entraîna la fusion d'une grande partie de la couverture neigeuse, précipitant ainsi vers les collecteurs, des masses d'eau considérables. Dans la nuit du 12 au 13 mars, l'Ebre atteignait 3,10 m à Castejon et l'on prévoyait 3,65 m pour le lendemain matin à Saragosse. Or, dépassant toutes les prévisions, le 14 à midi, le fleuve s'élevait à 6,25 m. La "Arboleda de Macanaz" (1) était totalement inondée jusqu'à la voie ferrée, les édifices de la Société Helios, excavés. Dans la campagne, la situation était dramatique. A Pastriz tous les habitants avaient dû se réfugier sur les toits, à Alagon les bas quartiers étaient inondés et dans les champs toute la récolte de betterave fut perdue. Entre Montemolin et Miraflores, tous les champs à gauche de la route de Barcelone ont été envahis par les eaux qui, en se retirant, laissèrent par endroit jusqu'à 2 m de limon.

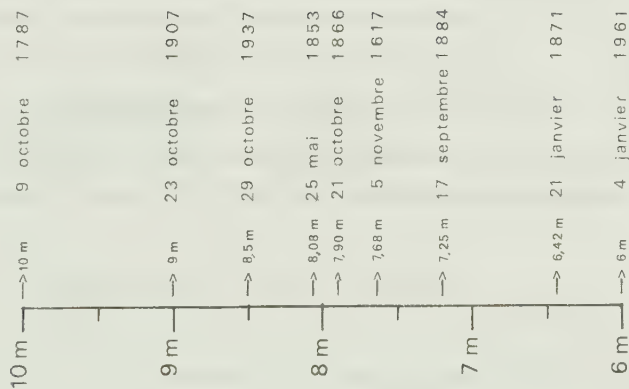
b - Les inondations du cours inférieur :

Malgré les vastes débordements de la vallée moyenne les crues ne s'aplatissent pas toujours à l'aval comme on pourrait s'y attendre. Deux causes à cela : le resserrement de la vallée, et l'arrivée de l'immense réseau Sègre-Cinca, en grande partie dompté aujourd'hui, mais qui, dans le passé a souvent été à l'origine de ces violentes colères de l'Ebre inférieur qui, périodiquement semaient la panique chez les populations riveraines. De ces différentes crises,

(1) Promenade plantée de peupliers sur la rive nord du fleuve.

Fig.63: LES PLUS HAUTES CRUES DE L'EBRE A CHERTA

Repérées sur la façade de l'église du village



La côte 6 m est légèrement au-dessus du sol de la place.
 " " 10 m se trouve au sommet de l'échelle en "azuleiros".

les archives locales ont plus ou moins gardé la trace. Ainsi connaît-on l'existence de crues en 1320, 1325 selon Jiménez Soler, puis en 1421-1445, et 1488. Cette année là, la rivière s'éleva à 5 m au-dessus de son "niveau normal" (1), et cette crue est la première pour laquelle on ait une notice documentaire. De graves inondations se produisent encore en 1517-1605-1617-1775-1783-1787-1826-1831-1843-1845-1853-1866-1871-1884 -. Sur la façade de l'Eglise de Cherta - localité d'où partent aujourd'hui les deux grands canaux d'irrigation du delta - une plaque en "azuleros" indique les niveaux atteints par les plus puissantes de ces crues. Le schéma ci-contre (fig. 63) qui traduit les indications de cette plaque montre que la plus catastrophique de ces inondations, fut celle de 1787. L'"Ilustracio Catala" du 3 novembre 1907 nous apprend qu'elle détruisit dans la région de Tortosa 518 maisons, et entraîna la mort de 183 personnes.

De semblables catastrophes sont-elles encore à craindre ? Quelle est dans l'état actuel du climat et de l'aménagement des cours d'eau, la plus grande crue à prévoir ? Quelle est d'une façon générale la fréquence de ces crises hydrologiques sur l'Ebre et ses affluents ? C'est ce que nous allons maintenant chercher à déterminer. Nous nous efforcerons aussi de montrer comment se déclenchent et comment se déroulent ces phénomènes redoutables.

(1) Les textes ne mentionnent pas ce qui était considéré alors comme "niveau normal".

C H A P I T R E I

CARACTERISTIQUES NUMERIQUES DES CRUES

SECTION I - LA FREQUENCE DES CRUES -

Il est nécessaire d'abord de préciser ce que l'on entend par crue. Dans l'esprit de tous, il s'agit d'un phénomène exceptionnel, caractérisé par un débit anormalement élevé. Deux possibilités s'offrent donc pour quantifier le phénomène : on peut utiliser une fréquence ou bien un chiffre de débit. Les valeurs généralement retenues sont 3 à 5 $\bar{Q}$ lorsqu'on définit la crue par un débit, $F(Q) = 5\%$ lorsqu'on utilise les fréquences.

Dans cette étude, nous avons généralement retenu le critère 5 $\bar{Q}$ sauf pour le cours inférieur au niveau de Tortosa où nous avons dû abaisser le seuil à 3 $\bar{Q}$ pour avoir une fréquence suffisante.

A - LA FREQUENCE VARIABLE DES CRUES PYRENEENNES -

En ce qui concerne les affluents pyrénéens, nous cons-

tatons d'assez grandes différences, résultant de l'oeuvre de l'homme autant que de la nature. Une rivière nous apparaît étrangement pondérée : le Sègre qui peut ne point se manifester violemment pendant plusieurs années consécutives . Ce fut le cas de 1961 à 1964 par exemple. Ce tempérament étonnamment calme pour un organisme d'affinités méditerranéennes, le Sègre le doit au climat d'abri que nous avons observé dans le fossé cerdan et sur la haute Pallaresa, et à la multiplication des barrages. En effet, à l'issue du bassin supérieur, à la Seo de Urgel, la fréquence des crues est déjà faible, en moyenne une à deux grosses venues d'eau par an, mais on peut voir s'écouler trois ou quatre ans sans que le seuil caractéristique de $5 \bar{Q}$ soit 61 m³/s, soit atteint. Ainsi entre juillet 1954 et avril 1959, une seule fois le débit a effleuré ce seuil, sans l'atteindre tout à fait. Malgré l'influence grandissante des pluies méditerranéennes vers l'aval, la fréquence des crues tend à diminuer sous l'effet des barrages.

Avec une moyenne de trois ou quatre crues par an, les autres grands émissaires pyrénéens paraissent beaucoup plus sensibles aux variations de l'alimentation. Mais tandis que sur l'Aragon les crues sont un phénomène relativement régulier, se produisant tous les hivers à raison de trois à cinq poussées étalées de novembre à avril, sur le Cinca, beaucoup plus capricieux, on a enregistré onze crues en 1959 et rien d'octobre 1948 à novembre 1950.

B - LA RARETE DES CRUES IBERIQUES -

Sur le versant ibérique, le Jalon reste le plus sou-

vent indifférent aux événements parfois dramatiques qui affectent le reste du bassin. A Huermeda, on a noté seulement une douzaine de crues caractérisées en 20 ans. Par contre le Guadalope, plus près de la Méditerranée, se montre déjà plus violent. Seule l'année 1952-53 ne l'a point vu entrer en crise. Généralement, c'est une à deux fois par an que la rivière se manifeste, parfois davantage, comme ce fut le cas en 1951-52 et 1959-60.

C - LA SENSIBILITE DE L'EBRE MOYEN AU PHENOMENE DE CRUE -

Sur le fleuve lui-même, le secteur le plus sensible est sans conteste, le cours moyen. Or il se trouve que c'est aussi le plus vulnérable à cause de la nature des terrains et du faible encaissement de la rivière. Aussi est-ce là, au long de ce cours moyen que l'effet morphologique des crues est le plus spectaculaire. On a vu combien pouvaient être importantes les modifications imposées par ces phénomènes au lit et au cours de la rivière. La situation est d'autant plus préoccupante dans toute la portion de vallée comprise entre le confluent de l'Aragon en amont de Castejon et la plaine de Pina que la fréquence des crues est particulièrement élevée. Soixante et quinze fois en 25 ans, le niveau de la rivière s'est élevé au-dessus de 3 m, soit une moyenne de trois fois par an. Si ces crues ordinaires ne jouent pas encore un très grand rôle, ni sur le plan humain, ni sur le plan morphologique, la situation est déjà différente lorsque la cote de 4 m représentant un débit de 2000 m³/s est atteinte au Pont de Pierre de Saragosse. La crue est alors qualifiée d'extraordinaire et dans la campagne ça et là, les eaux envahissent les champs. Or cette cote

a été atteinte 18 fois depuis 1946, en 25 ans d'observation. C'est donc presque tous les ans que les habitants de la vallée sont menacés d'inondation, ce qui explique la multiplication des ouvrages de défense.

En amont, au niveau de Miranda de Ebro, la moyenne des crues n'est plus que de 2,5 par an. On retrouve donc ce caractère de relative pondération déjà noté lors de l'étude du régime. La nuance océanique du climat et l'influence du vaste bassin de retenue de l'Ebre expliquent ce caractère.

Sur le cours inférieur, les phénomènes de compensation résultant de la diversité des affluents, et surtout depuis 1948, la multiplication des barrages, font que les grandes crues sont devenues plus rares. On y a enregistré 57 crues ordinaires en 20 ans (1700 m³/s) et 18 crues extraordinaires de plus de 2100 m³/s. Mais, cinq fois seulement depuis 1949, la cote de débordement à Tortosa, soit 6,50 m a été dépassée.

On conçoit qu'une atmosphère de sécurité se soit répandue dans cette vallée inférieure, endormant peut-être à tort la confiance des riverains, car ces crises hydrologiques que sont les crues sont éminemment imprévisibles et rien ne dit qu'une malencontreuse conjonction de flots n'entraînera pas à nouveau un jour, une catastrophe semblable à celles de 1907 et 1937. La probabilité est seulement plus faible, mais elle ne nous paraît pas nulle. La fantaisie des rivières dans ce domaine des crues se manifeste encore par l'absence de régularité dans l'apparition du phénomène. On le voit se produire avec une grande fréquence lors des années ou groupes d'années de forte hydraulicité, par exemple pendant la période 1959-60, 1960-61 et 1961-62,

puis lors des années hydrologiques 1953-54 et 1965 à 1967, tandis que la fin des années 1940 et le début des années 1950 ont connu de ce point de vue un calme étonnant.

Nous essaierons maintenant de préciser le danger que représentent les crues, par une étude de fréquence de la crue maximale annuelle, étude qui nous permettra de situer les événements de 1960 et 1961 et de connaître leur ordre de probabilité

SECTION II - ETUDE STATISTIQUE DE LA CRUE MAXIMALE ANNUELLE -

On désigne ainsi le plus gros débit instantané enregistré dans l'année. L'équipement du bassin en limnigraphes nous a permis de constituer une cinquantaine de séries de valeurs maximales d'une longueur de 20 à 25 ans.

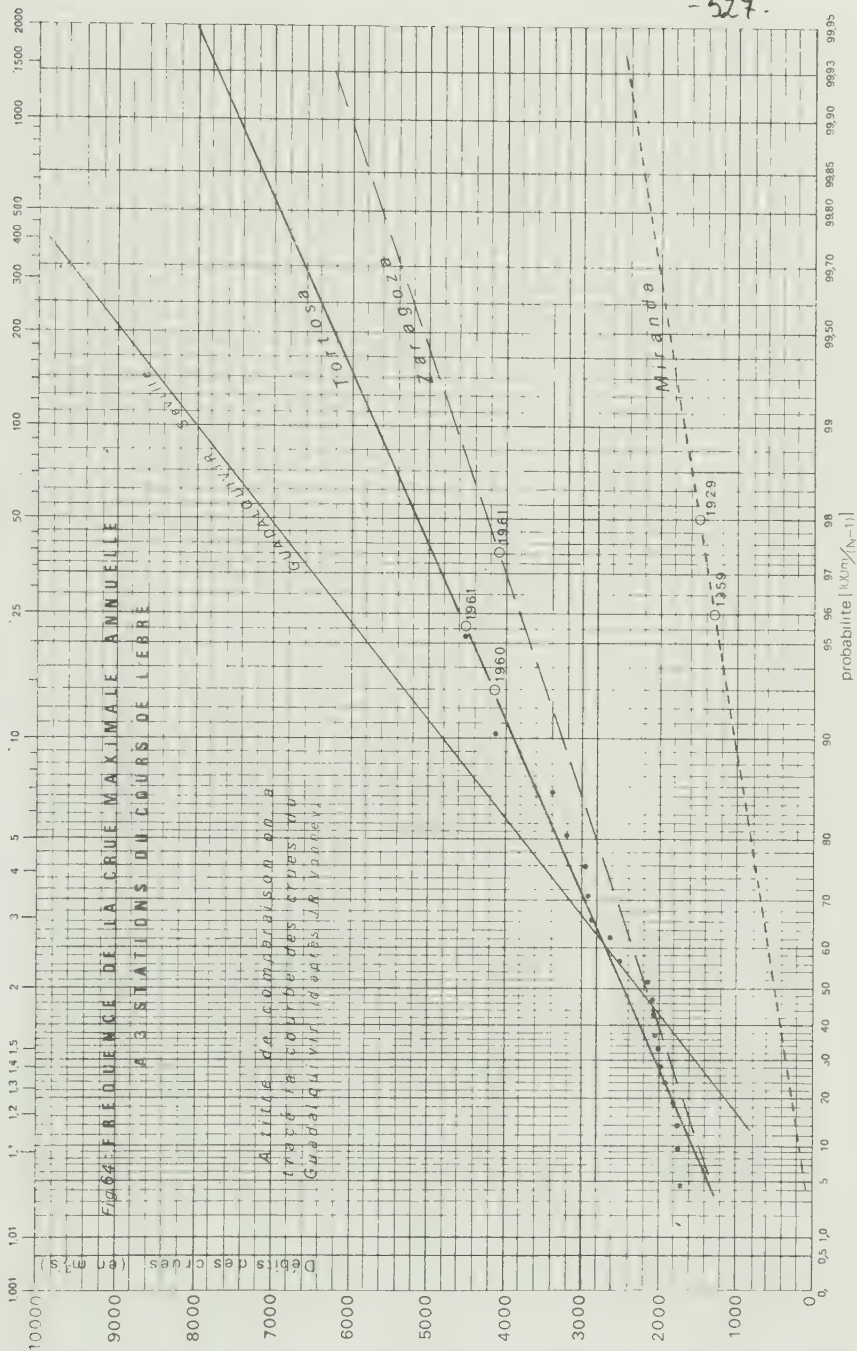
Dans un premier temps, nous avons choisi une vingtaine de stations dont 16 représentent les principaux affluents, et 4 représentent le fleuve en divers points de son cours. Nous avons traité ces séries par la loi de Gumbel selon la technique déjà employée pour les pluies maximales de 24 heures (cf. chapitre climat). Le bon alignement des points expérimentaux sur le papier autorisait en effet l'emploi de cette loi. Une fois tracées les courbes ajustées, par lecture directe sur le graphique nous avons trouvé les valeurs de la crue maximum annuelle, quinquennale, décennale, centenaire, et millénaire (cf. fig. 64 et 65).

A celui qui n'a pas compulsé et médité les listes de

crues annuelles, le graphique relatif au fleuve apporte une première surprise : la supériorité des crues de Castejon sur celles de Tortosa à partir du niveau quinquennal, et ceci, non seulement en ce qui concerne les valeurs relatives mais aussi les valeurs absolues. La crue millénaire s'élève à Castejon à 5876 m³/s et représente 25 fois le module. Les chiffres correspondants sont, pour Tortosa de 5060 m³/s et 10 fois le module. Effectivement, si l'on se rapporte aux séries de valeurs classées qui ont servi de base à l'établissement des courbes, on constate que l'éventail des débits de Castejon est plus ouvert que celui de Tortosa. Le problème est de savoir s'il n'y a pas un seuil à ce phénomène et si la crue millénaire en amont l'emporte vraiment sur celle de l'aval. Compte-tenu du climat et de la surface drainée (25000 km² contre 84000 km²) cela ne paraît pas évident. Pourtant il ne faut pas oublier la puissante convergence qui, en amont de Castejon doit pouvoir jouer un rôle au moins aussi important que celle de Mequenza, plus important peut-être depuis que la multiplication des retenues sur le Sègre et ses tributaires a en partie neutralisé ce dernier atfluent. Il aurait été du plus haut intérêt de pouvoir construire, pour le cours inférieur de l'Ebre, une autre courbe correspondant à la période précédant la construction de grands barrages. Nous ne possédons malheureusement pour cette période que des débits moyens journaliers et non des débits instantanés correspondant à la pointe de crue.

Si la courbe de Castejon s'inscrit sur le papier Gumbel au-dessus de celle de Tortosa, à plus forte raison passe-t-elle aussi au-dessus de celle de Saragosse, et ceci malgré un module comparable et un bassin versant considérablement agrandi. Avec 4650 m³/s, la crue

Durée de retour (en années)



centenaire de Saragosse est inférieure de 1200 m³/s à celle de Castejon, et représente seulement 19 fois le module, contre 32 à Castejon.

Tout ceci reste assez modeste surtout pour des pays méditerranéens, et en particulier beaucoup moins spectaculaire que sur le bas Guadalquivir par exemple que nous avons pu représenter ici grâce aux travaux de J.P. Vanney (1970). Au niveau millénaire en effet, la crue du Guadalquivir à Seville s'élèverait selon cet auteur à 11000 m³/s pour 52.000 km². Nous n'avons trouvé pour l'Ebre que 6000 m³/s pour les 44000 km² de bassin à Saragosse, et 7400 m³/s pour les 85 000 km² de bassin à Tortosa.

Les courbes de valeurs maximales présentent un autre intérêt : celui de permettre l'évaluation de l'ordre de fréquence de la crue maximale de la période étudiée, et des grandes crues historiques. On constate ainsi que les graves inondations éprouvées par les populations de la vallée moyenne et inférieure du fleuve en décembre 1960, janvier 1961, représentent un phénomène d'ordre trentenaire environ pour le bassin moyen, un peu plus fréquent (4 fois en cent ans environ) pour le bassin inférieur. Les catastrophes de 1907 et 1937, si on les évalue à 10 000 m³/s seraient des phénomènes d'une extrême rareté.

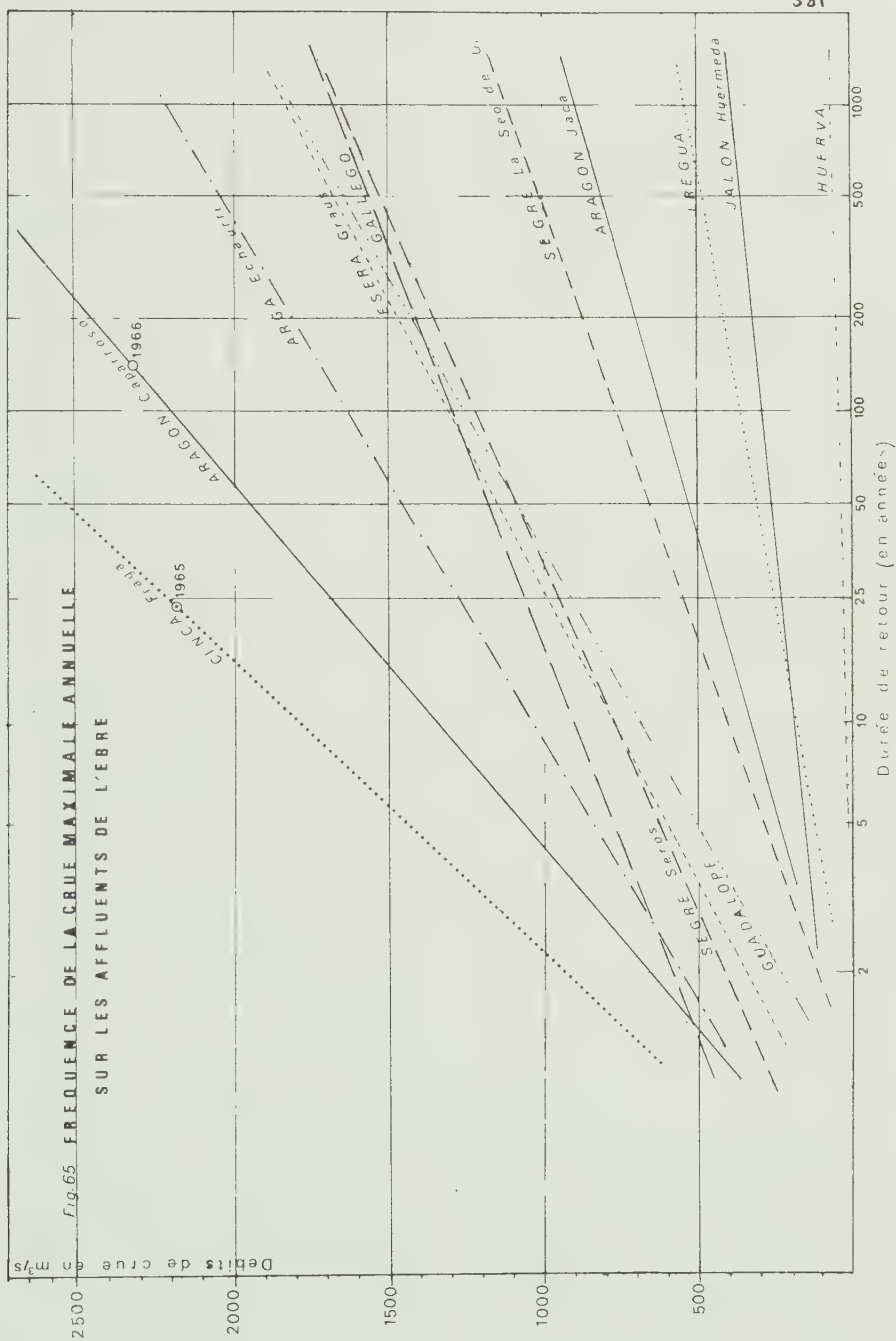
Mais la valeur de ces réflexions est liée d'abord à celle des évaluations des crues anciennes. De plus, il faut bien tenir compte d'un fait fondamental ; nous raisonnons sur des faits passés à partir de courbes construites avec des débits actuels ou subactuels. Or les travaux des hommes ont considérablement modifié depuis 50 ans environ, les conditions de l'écoulement. En particulier, le tempérament de l'Ebre inférieur a dû considérablement s'assagir depuis la régularisation du Sègre et la construction sur le fleuve lui-même, des barrages de

TABLEAU XL : EVALUATION DES CRUES EN M3/S POUR DES PERIODES
DE RETOUR T DE 5, 10, 50, 100 et 1 000 ANS.

Stations		T	5	10	50	100	1 000
	Miranda		750	1 037	1 497	1 686	2 350
	Castejon		3 300	3 941	5 276	5 879	7 750
	Zaragoza		2 800	3 250	4 247	4 650	6 000
	Tortosa		3 300	3 848	5 060	5 665	7 400
	Andosilla		320	384	530	580	770
	Echaurri		850	1 044	1 455	1 640	2 225
	Caparroso		1 075	1 353	1 957	2 207	3 150
	Jaca		250	342	536	620	900
	Ardisa		780	900	1 276	1 300	1 680
	Fraga		1 450	1 786	2 527	2 837	3 850
	Graus		600	770	1 150	1 300	1 825
	Seros		630	774	1 090	1 225	1 650
	La Seo de Urgel		295	402	644	760	1 120
	Puigcerda		27	35	47	53	74
	La Seo de Urgel		200	255	376	427	590
	Torremontalbo		170	204	282	325	440
	Islallana		130	195	313	370	550
	Huermeda		190	193	285	200	390
	Mezalocha		20	26	39	42	55
	Alcañiz		500	684	1 092	1 250	1 800

Mequinzenza, Flix et Ribarroja. Or si ces ouvrages exercent une action efficace sur les crues ordinaires voire les crues extraordinaires, d'ordre centenaire et peut-être même au-delà, il est peu probable qu'ils puissent s'opposer au passage des crues millénaires. C'est donc avec beaucoup de prudence qu'il faut manier les conclusions relatives aux crues anciennes. Ajoutons enfin que le terme de crue décennale par exemple ne signifie pas grand chose car il n'y a pas de rythme régulier des crues, bien au contraire. Ainsi, le niveau décennal pourra tout bien être atteint plusieurs années de suite et ne plus être observé ensuite pendant une longue période. A Tortosa par exemple, pour la période de 25 ans qui s'étend de 1948 à 1973 le débit décennal a été atteint 2 fois et ceci au cours de deux hivers consécutifs : janvier 1960 et janvier 1961. Dans ces conditions, on sera plus près de la vérité en disant que l'Ebre inférieur a des chances d'éprouver sur une période de 100 ans, deux crues supérieures à 5000 m³/s et une dizaine de crues voisines de 4000 m³/s. A Saragosse, où nous avons évalué à 6000 m³/s la crue millénaire, le débit s'élève au-dessus de 3000 m³/s environ dix fois par siècle. Et l'on doit s'attendre à 4000 m³/s environ pour les crues de même fréquence à Castejon.

De tous les affluents de l'Ebre, ce sont les affluents pyrénéens qui sont capables des plus fortes poussées. En tête, le Cinca avec une crue millénaire proche de 4000 m³/s, ensuite l'Aragon qui dépasse 3000 m³/s pour la même fréquence. Quant au Sègre si impétueux autrefois - de nombreux textes anciens nous parlent de ses terribles débordements -, il vient aujourd'hui très loin derrière avec une onde de 1650 m³/s seulement pour une période de retour de 1000 ans. Quant à sa crue centenaire, forte de 1225 m³/s contre plus de 2000 m³/s pour



l'Aragon, et près de 3000 m³/s pour le Cinca, elle vaut seulement 12 fois le module. C'est le chiffre le plus faible rencontré sur les 20 stations étudiées en détail. La différence de comportement entre les deux grands affluents est-pyrénéens, Cinca et Sègre, autrefois aussi torrentiels l'un que l'autre permet de mesurer l'influence des retenues sur le phénomène de crue. Il est vrai que, ainsi que nous l'avons souligné, on mesure mal l'influence de ces ouvrages sur les phénomènes tout à fait exceptionnels. Il est possible qu'à ce niveau le Sègre retrouve sa virulence et sa suprématie. Enfin, en ce qui concerne le Cinca, la mise en eau des bassins de El Grado et de Mediano entraînera d'ici quelques années une modification de la courbe de la crue maximum annuelle, et par conséquent des conclusions auxquelles nous sommes parvenus.

Sur la rive droite, seul le Guadalope est capable de fortes poussées. Avec 1250 m³/s, sa crue centenaire vaut 170 fois le débit moyen annuel. Sur le graphique Gumbel, sa courbe très redressée traduit un éventail de débits maxima très ouvert, et par conséquent un tempérament très capricieux. Cependant, les 1800 m³/s de sa crue millénaire représentent pour un bassin de cette ampleur et pour un milieu méditerranéen, une étonnante modération. Il est vrai que le bassin de cette rivière se développe en arrière des reliefs côtiers, dans un milieu déjà marqué par la continentalité ibérique.

Lorsque cette influence s'accroît, les rivières s'assagissent de plus en plus. C'est ainsi que l'immense Jalon n'atteint pas 400 m³/s pour sa crue millénaire, tandis que le phénomène centenaire est évalué à 300 m³/s seulement, soit 20 fois le module. Par contre, au-delà du Moncayo, l'influence grandissante des pluies océaniques

impose au Najerilla et surtout à l'Iregua, un tempérament déjà plus turbulent. La crue centenaire du Najerilla représente en effet 60 fois le module.

Dans l'ensemble on peut dire que, sauf pour l'Ebre au niveau de Castejon et pour le Cinca inférieur, les valeurs actuelles des crues centenaires ou millénaires ne sont pas exorbitantes.

SECTION III - LA CRUE DANS L'ANNEE HYDROLOGIQUE -

Dans un bassin aussi vaste que celui qui nous occupe, étiré sous des climats aux nuances différentes, les dangers de crue ne se manifestent pas partout à la même saison. Chaque secteur élémentaire a sa période critique directement liée au climat, mais la situation se complique à l'aval où le fleuve intègre les différents éléments de son cours. Aussi voit-on se dessiner dans le bassin de l'Ebre :

A - UN VASTE DOMAINE A CRUES D'HIVER : LE BASSIN SUPERIEUR :

Plus précisément, ce domaine comprend toute la moyenne montagne soumise aux influences océaniques jusqu'à l'Aragon inclus, du côté des Pyrénées, mais jusqu'au Tiron seulement du côté du Système Ibérique. A l'intérieur de ce domaine, presque tous les records hydroclimatiques se situent en décembre ou janvier : maximum de pluie, maximum de fréquence des crues, aussi bien des crues au sens large, telles qu'on les a définies au début de ce chapitre, que de la crue maximale annuelle, ou encore des records des 25 dernières années. Seul, le maxi-

mum de débit est généralement décalé d'un mois et reporté en février ou même en mars. Constatation intéressante qui permet de voir le rôle respectif de la neige et de la pluie dans ce secteur. En première approximation, on peut dire que c'est la neige qui est responsable du maximum de printemps tandis que les crues sont, elles, d'origine essentiellement pluviale, la neige ne jouant ici que sur le coefficient de gravité du phénomène.

Il est évident qu'un régime aussi solidement établi à l'amont, ne peut que se prolonger longuement au long du cours moyen, d'autant qu'aucun affluent important ne vient perturber la situation acquise. Aussi, à Saragosse comme dans toute la vallée moyenne, la crue est un phénomène hivernal. Dans 35 % des cas, elle se situe en décembre-janvier, et c'est aussi à ce moment que se produisent les plus grosses inondations. Une nouveauté pourtant par rapport à Miranda : la poussée de mars. Dans 20 % des cas, la crue maximale annuelle se produit au cours de ce mois, soit une fréquence comparable à celle de janvier. Mais d'une part, il s'agit de phénomènes de deuxième ordre - dans la liste des 20 premières crues, le mois de mars n'apparaît qu'une seule fois -, d'autre part c'est la prise en compte de la période antérieure à 1949 qui nous vaut ce résultat. En effet de 1913 à 1949 la crue maximale annuelle s'est située 9 fois en mars, depuis 1949, une seule fois. Nos observations sont encore trop fragmentaires pour avancer l'idée d'une océanisation du climat dans ce secteur du monde méditerranéen, au cours des deux dernières décennies. Pourtant nous avons eu l'occasion d'observer en Languedoc, des glissements climatiques allant dans le même sens, en particulier un passage des maxima pluviométriques de l'automne (octobre ou novembre) à l'hiver (décembre).

B - LES CRUES DE PRINTEMPS DE LA HAUTE MONTAGNE PYRENEENNE -

La haute montagne pyrénéenne est avant tout le domaine des crues de printemps comme cela apparaît à la fois sur le tableau XL1a, la carte de la crue maximale annuelle (fig. XVIII H.T.) et sur les histogrammes représentant les maxima instantanés moyens de chacun des mois (fig. 37 et 39). Ces crues se produisent de préférence en mars, lorsque se déclenchent les pluies de printemps qui liquéfient une partie du stock neigeux. Mais la situation est ici plus complexe que dans le cas précédent. En effet une deuxième période critique se dessine en juin, sous l'effet de la multiplication des orages qui, en haute montagne prennent souvent une ampleur considérable, et qui emportent alors brutalement les dernières neiges. Enfin, les influences méditerranéennes apportent jusqu'au coeur des Pyrénées centrales de lourdes pluies d'automne génératrices d'une nouvelle et forte poussée, située cette fois en novembre.

C - VARIETE DES DATES DE CRUE D'UNE EXTREMITE A L'AUTRE DU SYSTEME IBERIQUE -

De la Sierra de la Demanda au Maestrazgo, sur le versant ibérique, la situation est très variable :

- Si le Tiron, tout à l'amont, avec ses crues hivernales relève encore du régime cantabrique et ouest pyrénéen, à partir du Najerilla, c'est surtout au printemps que la situation est critique au long des vallées. On est ici en effet dans la zone de passage des maxima pluviométriques d'hiver aux maxima pluviométriques de printemps. De plus, grâce à l'altitude - un pourcentage non négligeable des bassins

est situé au-dessus de 1500 m -, la neige joue un certain rôle. De sorte que si la pluviométrie est encore hésitante, l'hydrologie elle, grâce à la neige, s'oriente nettement vers des maxima printaniers.

- Dans le secteur médian du Système Ibérique, le Jalon est une rivière au tempérament tout à fait original, capable de pousser ses colères à n'importe quel moment de l'année ; aucun mois en effet ne se détache nettement ni sur le tableau XL1 b, ni sur l'histogramme de la figure 47. Toutefois c'est au moment où apparaissent les premières chaleurs, en mai-juin et jusqu'en juillet que le Jalon paraît le plus susceptible. Là se situent les plus grandes fréquences de crues (peu supérieures il est vrai à celles des autres mois) là aussi, en mai exactement, se place le maximum de débit observé depuis 1949. Une autre période critique se dessine à l'automne, annonçant les influences méditerranéennes que l'on va voir se préciser sur le Guadalope.

- A l'extrémité sud-est de la Cordillère Ibérique, le Guadalope se distingue par des crues nettement automnales, tant par leur nombre que par leur importance. Les quatre premières crues des 25 dernières années se situent en octobre. Seules, elles dépassent 500 m³/s, et distancent très largement les crues suivantes. Contrairement à ce qui se passe en amont, les mois d'hiver sont des mois creux, comme d'ailleurs sur les grands affluents est-pyrénéens. Mais ce calme se poursuit ici au début du printemps, en particulier en mars, mois des plus hautes eaux en même temps que de la plus grande rareté des crues. Depuis 1912, une seule fois le maximum annuel de débit s'est situé en mars. Il y a là une discordance assez remarquable, due au fait qu'on est encore à ce moment dans le creux pluviométrique de l'hiver, un creux que la continentalité du haut bassin a fortement marqué, d'où la

rareté des crues, tandis que la faiblesse des déficits lors des premières pluies de printemps, jointe sans doute à un léger effet nival (la Sierra de Gudar culmine à plus de 2000 m) expliquent le maximum hydrologique.

Ainsi les différents affluents de l'Ebre affichent en ce qui concerne les crues, des comportements bien variables. Reste à voir comment le fleuve, dans son cours inférieur, s'accommode de tempéraments aussi différents.

D - EPOQUE DES CRUES SUR L'EBRE INFERIEUR -

Au niveau de Tortosa les 50 crues maximales annuelles étudiées se répartissent de façon assez régulière sur 10 mois de l'année d'octobre à juillet avec toutefois trois périodes de plus grande sensibilité : décembre, qui écoule les crues de l'Aragon et du haut-Ebre, février-mars qui voient passer les crues des rivières pyrénéennes, fortifiées par celles des rivières ibériques d'amont, mai enfin, qui se ressent surtout des sautes d'humeur du Sègre au cours de ce mois, mais aussi d'un maximum pluviométrique secondaire (et parfois même principal comme à Saragosse), sur la plus grande partie du bassin. Mais les événements les plus spectaculaires eux, se localisent nettement sur l'automne et sur le mois de mai. Au niveau de ces phénomènes maxima, c'est donc l'influence méditerranéenne qui l'emporte sur les influences océaniques d'amont. Les "révélateurs" de cette influence étant avant tout le réseau Sègre-Cinca, puis le Guadalope, enfin les torrents du bassin inférieur, le plus souvent à sec en été, mais qui peuvent par-

TABEAU XLI : PLACE DES CRUES DANS L'ANNEE HYDROLOGIQUE

a) AFFLUENTS DE RIVE GAUCHE													
Rivière	Station	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Zadorra	Arce	Qma %	4	12	20	24	12	12	4				
		Qm ^x	1		3	2	2						
Aragon	Caparcoso	Qma %	2	12	24	14	12	18	8	2	2		
		QM	1	2	5	1	2	4	2	1			
Gallego	Ardisa	Qma %	6	16	4	4	4	16	12	16	4		4
		QM	1	4	2		2	2	1	1	2	1	2
Cinca	Fraga	Qma %	15	21	3	0	0	21	3	10	17	6	3
		QM	4	5	3	1	1	1		3	3	1	
Sègre	Seros	Qma %	5	15	5	2,5		5	2,5	40	23		2,5
		QM	2	3	2	1		1	1	5	5		

Qma : crue maximum annuelle. Elle est donnée en % Son étude porte sur la période 1912-13 à 1970 - 71.

QM : Il s'agit des 20 premières crues de la période 1948 - 49 à 1970 - 71.

Qm^x : On a pris en compte seulement les 10 premières crues

TABLEAU XLI : PLACE DES CRUES DANS L'ANNEE HYDROLOGIQUE

b) AFFLUENTS		I B E R I Q U E S											
Rivière	Station	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Iregua	Islallana	Qma %	3		16	10	19	13	16	3		3	
		QM		1	1	1	3		1				
Jalon	Huermeda	Qma %	8	10	6	10	2	10	8	12	8	6	10
		QM	2	1	1	1	1	1	3	2	3		2
Guadalope	Alcaniz	Qma %	16	9	2	7	2	12	12	14	5	9	5
		QM	5	3					3	1	1	3	1

c) E B R E													
Rivière	Station	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Mirando de E.		Qma %	2	17	22	17	15	7	5	4			
		QM		5	8	2	2						
Zaragoza		Qma %	4	16	20	13	20	9	7	2	2		
		QM	1	5	6	3	1		2				
Tortosa		Qma %	4	16	12	14	14	6	14	6	6		
		QM	3	3	2	2	2		4		1		

ticiper de façon très active à la crue automnale.

On est par contre étonné de trouver, sur le tableau relatif à la place des crues dans l'année, un mois de septembre totalement préservé de ces phénomènes et ce, malgré des possibilités de crue à ce moment là sur le Gallego, le Cinca, le Jalon et le Guadalope. Il est vrai que ce sont là des rivières dont l'influence n'est pas primordiale, sauf pour le Cinca qui, justement ne connaît en ce mois que des crues secondaires. D'autre part, l'évaporation, importante à cause de la chaleur encore forte, les bassins, épuisés par les irrigations estivales, absorbent un volume d'eau important et les crues qui tentent de se former s'applatissent très vite. On ne peut terminer cette étude sans signaler que si septembre est un mois de calme hydrologique, tout danger n'est pas pour autant écarté dans la vallée. C'est en effet l'époque où des pluies de 100, 150, 200 mm peuvent s'abattre en quelques heures sur la région, faisant brutalement sortir de leur lit les "barancos" jusqu'auers à sec. Toutes proportions gardées, ces phénomènes sont parfois aussi violents que les plus fortes crues du fleuve lui-même.

SECTION IV - LA PUISSANCE DES CRUES -

Elle peut-être exprimée de différentes façons : la plus simple est la hauteur d'eau à l'échelle, donnée souvent négligée car elle dépend autant de la forme du lit que du volume d'eau et par conséquent ne permet guère les comparaisons d'une rivière à l'autre. Et les modifications du fond de la rivière obligent les hommes à déplacer le zéro des échelles, de sorte que les séries de hauteurs ne sont pas homogènes.

gènes. Pourtant il s'agit là d'une donnée de toute première importance pour les riverains dont la sécurité dépend du niveau atteint par les eaux. Pour les crues anciennes, c'est souvent aussi la seule indication chiffrée que nous possédions. Plus instructive malgré tout est la connaissance des débits : débits bruts qui donnent une idée de la puissance de la crue et débits spécifiques qui évoquent la puissance du ruissellement. Mais comme ces deux valeurs sont liées à la surface et varient avec elle, il était nécessaire, pour permettre d'utiles comparaisons, de trouver un indice capable d'évoquer la torrentialité d'une rivière, indépendamment de l'étendue de son bassin. Ce fut le mérite de la formule de Myer, utilisée par l'éminent hydrologue français Coutagne, mais surteut par M. Pardé

Cette formule connue sous le nom de coefficient A, a pour expression la plus courante : $A = \frac{Q}{\sqrt{S}}$ (1). On constate que ce coefficient varie d'une région à l'autre, en fonction des facteurs géophysiques, mais dans une région homogène, il reste relativement stable d'amont en aval.

Nous avons recueilli ou calculé toutes ces données pour une centaine de stations du bassin. Ceci représentait une densité suffisante pour permettre de cartographier certains phénomènes, en particulier les caractéristiques de la crue maximale enregistrée depuis 1914 : débit brut et spécifique, coefficient A. Nous avons d'autre part construit sur papier logarithmique, la courbe enveloppe des débits maxima

1. Q en m³/s. S = surface du bassin versant en m².
2. Voir sur la puissance des crues le Professeur Pardé a
3. un coefficient $A' = Q/S^{2/3}$ et un coefficient

de l'Ebre et de ses affluents. Ces documents nous permettent à présent une étude comparative de la puissance des crues dans les différents bassins élémentaires et sur les différentes sections du fleuve. On s'efforcera aussi de situer ces crues par rapport à celles d'autres rivières ibériques et plus généralement méditerranéennes.

A - LES HAUTEURS D'EAU -

A Tortosa, depuis le début du siècle, une dizaine de crues ont atteint ou dépassé la cote de débordement, soit 6,30 mm. Ce sont par ordre décroissant, les crues suivantes :

1 -	26 octobre 1937	Pas d'observation
2 -	octobre 1907	9,65 m
3 -	Janvier 1961	8,20 "
4 -	Janvier 1960	7,50 "
5 -	Mai 1915	6,75 "
6 -	Février 1952	6,56 "
7 -	Février 1919	6,56 "
8 -	Mai 1921	6,50 "
9 -	Novembre 1960	6,50 "

Ainsi, malgré la construction de digues puissantes, les quartiers de la ville les plus proches du fleuve peuvent-ils être envahis par un ou deux mètres d'eau ; et à deux reprises dans la première moitié de ce siècle, les choses furent plus graves encore. Mais ce sont là, et c'est heureux, des événements relativement rares.

De même à Saragosse, la ville est aujourd'hui pratiquement à l'abri des inondations grâce au puissant mur de protection construit

en avant de la basilique du Pilar. Par contre, la rive nord, plus basse et moins protégée se trouve un peu plus exposée.

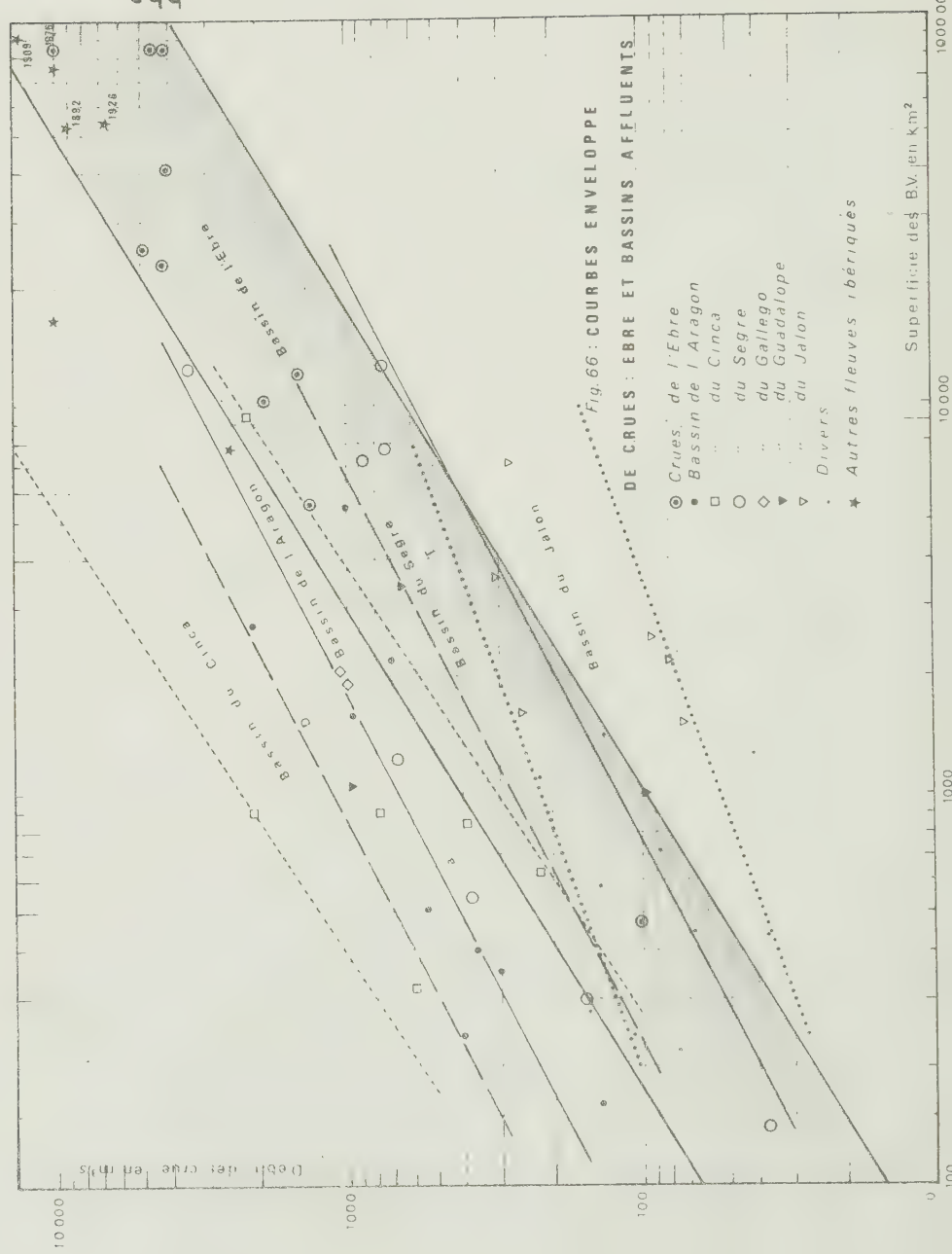
En effet, dès que la cote de 4 m est atteinte, les eaux commencent à déborder sur la berge de gauche, au voisinage du Pont de Pierre et à 4,60 m, la "Arboleda de Macanaz" est inondée. Et si la montée des eaux se poursuit, bientôt c'est le faubourg de Ramillas qui est atteint.

L'échelle du Pont de Pierre indique alors 5,50 à 6 m. Depuis la grande crue de 1930 décrite ci-dessus, 9 fois les Saragossans ont pu voir ainsi leur promenade sous les eaux ; ce qui représente un phénomène dont la période de retour est de 5 ans seulement. Il y a là une notion que les promoteurs en train de lotir dans ce secteur ont intérêt à ne point perdre de vue. Nous donnons d'ailleurs ci-dessous la liste des 10 hauteurs d'eau les plus élevées notées depuis 1912-13 à l'échelle du Pont de Pierre (1) :

1	- 6,32 m	2 janvier 1961
2	- 6,25 "	14 mars 1930
3	- 5,65 "	janvier 1939
4	- 5,42 "	5 février 1952
5	- 5,30 "	12 novembre 1966
6	- 5,25 "	octobre 1937
7	- 5 "	16 décembre 1959
8	- 4,92 "	26 mai 1956
9	- 4,62 "	13 février 1954
10	- 4,50 "	16 novembre 1961

Malgré des débits beaucoup plus faibles, les crues à Miranda sont assez pointues et peuvent s'élever à des niveaux inquiétants le long de l'échelle comme le prouvent les marées enregistrees lors des crues postérieures à 1946 :

(1) Une nouvelle échelle est donc établie après que ruissonnées contre le nouveau pont de Saragosse de l'ont l'indiqués



3,10 m	4 février 1952
5,40 "	2 décembre 1959
6,50 "	13 décembre 1959
4,20 "	24 février 1960
5,20 "	1 janvier 1961
3,75 "	29 novembre 1961
5,90 "	13 novembre 1961
3,91 "	10 novembre 1966

L'intérêt de ces données réside surtout dans la prévision des inondations. Mais la puissance des crues se définit de façon beaucoup plus précise à l'aide des débits ou d'indices liés aux débits.

S
B - LES DEBITS MAXIMAUX OBSERVES -

1°/ Relative modicité des crues de l'Ebre :

En ce qui concerne les crues du passé, il est difficile de donner des chiffres précis. Le Professeur Pardé a évalué la crue d'octobre 1787 à 4000 m³/s à Saragosse, soit 95 l/s/km² et à 10 à 12 000 m³/s (120 à 144 l/s/km²) à Tortosa. Le premier chiffre est un peu étonnant à cause de la date et du comportement du fleuve qui nous incite à classer cette crue dans la catégorie des crues méditerranéennes, lesquelles prennent naissance essentiellement sur le réseau Sègre-Cinca, accessoirement sur le Guadaroque et le Matarraña. Il a donc fallu une pluie singulièrement extensive pour donner de pareils débits à Saragosse. Or l'extension est justement en contradiction avec l'intensité supposée. Mais tout ceci n'est pas invraisemblable et semble d'ailleurs s'être reproduit en octobre 1907. Quant aux 10 à 12000 m³/s de Tortosa, ils paraissent

sent énormes, à la lumière du régime actuel, et pourtant, si l'on admet 8 à 1000 m³/s pour la crue de 1937, qui a donné 9,20 m au niveau de Cherta, il faut bien admettre pour la hauteur atteinte en 1787, soit 10 m, un débit de 10 000 m³/s au moins, et peut-être même, en effet, 12 000 m³/s. Revenons sur ces événements de 1907 et 1937, pour lesquels des valeurs énormes ont été parfois avancées. Garcia Paria parle de 23 000 m³/s, et ce chiffre a été repris par de Reparaz Ruis (1930). L'évaluation de Masach Alavedra, beaucoup plus sérieuse, fondée sur des calculs précis ne donne déjà plus que 8000 m³/s. Compte-tenu des courbes de tarage qui, bien sûr ont évolué depuis cette époque, mais pas de façon fondamentale, de la puissance connue des crues élémentaires de l'Ebre moyen (2800 m³/s) et du Sègre (3650 m³/s), et des évaluations relatives au Cinca et au Gallego, nous avons été amenée aux mêmes conclusions que M. Pardé : soit 8000 à 10.000 m³/s pour le maximum instantané. La marge entre ces deux chiffres étant liée moins aux possibilités d'erreur sur l'évaluation des débits du Gallego et du Cinca (1) que sur les incertitudes concernant la conjonction plus ou moins étroite des flots.

Pour les crues postérieures à 1946-48, on a des données plus précises et plus sûres, grâce à l'équipement du bassin en limnigraphes, permettant de saisir les maxima instantanés et la courbe d'évolution de la crue. Malheureusement il arrive que, lors des crues les plus importantes, les appareils soient emportés ou endommagés, et c'est assez

.....

(1) Nous possédons en effet pour la zone située entre le Cinca et la mer, une bonne carte de la pluie responsable, ce qui nous permet au moins l'évaluation de la crue du Cinca.

souvent le cas pour la station de Tortosa où nous avons trouvé plusieurs limnigrammes interrompus pour cause de dommages à l'appareil. Il faut alors rétablir la courbe en se fondant, soit sur les traces laissées par l'eau sur les ponts ou les immeubles, soit sur des calculs de corrélation. Malheureusement, les stations les plus proches de Tortosa (Flix, Mequinzenza) ne semblent pas très sûres.

Pour la période actuelle (postérieure à 1946), la crue maximale observée, celle de janvier 1961, a donné seulement 4580 m³/s à Tortosa. C'est un chiffre relativement modeste, compte-tenu de l'étendue du bassin. Cette modération apparaît d'ailleurs dans le débit spécifique : 54 l/s/km² et la valeur de A = 16 seulement. Pour des surfaces comparables, le Douro a donné en 1909 : 43 à 49, le Pô en 1951, 37,8, et pour des bassins un peu plus réduits, nous trouvons encore A = 32 pour le Guadalquivir à Séville et A = 30 à 35 pour la Garonne à Tonneins, lors de la célèbre crue de mars en 1930. Notons encore que le débit maximum du 5 janvier 1961 ne représente que 8 fois le module. Mais ce chiffre de 4580 m³/s ne constitue pas le record du fleuve pour la période étudiée. Ce record, il appartient à Castejon avec 4950 m³/s, débit enregistré le 30 décembre 1960 et qui reste encore en 1975 le plus fort débit enregistré par l'Ebre depuis 1937 c'est à dire pratiquement durant les quarante dernières années. Et il est remarquable de noter qu'il ait été observé non sur le cours inférieur, en aval de la confluence du Sègre, mais au début du cours moyen, immédiatement après la confluence de l'Aragon. Dans l'état actuel du climat et des aménagements humains, c'est en effet au long du cours moyen que se situent, en valeur relative et même parfois en valeur absolue (c'est le cas pour la crue maximale de fin 1960-début 1961) les phénomènes les plus puissants.

TABEAU XLII : CARACTERISTIQUES DE LA CRUE MAXIMALE

a) A différentes stations du cours de l'Ebre :

Station	Période d'observation	E B R E					Date
		S (km2)	Q (m3/s)	q (l/s/km2)	A = Q S	$\frac{Q}{\bar{Q}}$	
Miranda de Ebro	1946 - 47 à 1970 - 71	5 481	1 316	240	17,8	20	13-12-59
Castejon	1948 - 49 à 1970-71	25 194	4 950	197	31	25	31-12-60
Zaragoza	1945 - 46 à 1970 - 71	40 434	4 130	102	20,5	17	2-01-61
Tortosa	1949 - 50 à 1970 - 71	84 230	4 580	54	16	8	5-01-61
Tortosa	1912 - 13 à 1970 - 71	84 230	10 000	118	357	181	-10-37

En ce qui concerne les débits bruts, il est courant en effet, on y reviendra dans l'étude de l'évolution des crues, de constater une diminution d'amont en aval. On l'a vu en janvier 1967, novembre 1966, janvier 1965, décembre 1962... pour ne parler que des plus fortes crues de l'époque récente. Mais même si l'on compare rang par rang les 10 premières crues à Tortosa et à Castejon, on constate que les valeurs de Castejon sont de très peu inférieures à celles de Tortosa. Par contre les débits spécifiques maximaux, relativement faibles à l'aval, dépassent 100 l/s/km² sur la plus grande partie du cours moyen et se tiennent très près de 200 l/s/km² de Castejon à Haro. Quant au coefficient A, c'est sur le secteur du fleuve compris entre Logrono et Caspe qu'il atteint sa plus forte valeur. Il est alors supérieur à 20, et s'élève même à 31 au niveau du confluent de l'Aragon. Ici les crues représentent 15 à 25 fois le débit annuel. Compte-tenu de l'étendue des bassins versants et de la faible longueur de la période d'étude, ce sont là des chiffres d'une certaine importance. Il est vrai qu'à allonger la période de référence, on n'y gagnerait guère du côté des phénomènes catastrophiques. Il ne semble pas en effet que les 4500 m³/s de 1961 à Saragosse aient été de beaucoup dépassés au cours de l'histoire, sauf peut-être en 1871.

En amont de Haro, l'Ebre cantabrique est à nouveau plus modéré dans ses excès. La crue maximale n'atteint ici que 1316 m³/s pour près de 5500 km². Si ce chiffre représente encore 20 fois le module et un débit spécifique de 240 l/s/km² le coefficient A est tombé à 17 et ne cesse d'ailleurs de diminuer vers l'amont, pour atteindre 5 seulement à Atreco. On serait tenté de voir là un effet du bassin de retenue de Reinosá, et sans doute, cet important barrage joue-t-il un rôle modéra-

teur efficace. Pourtant, comme on le constatera plus loin, ce chiffre est caractéristique de l'ensemble du haut bassin et reflète donc une réelle modération des crues dans ce secteur.

Ces caractéristiques rencontrées sur le collecteur principal sont la résultante des influences diverses apportées par les affluents. Un rapide coup d'oeil sur la carte des débits maximaux permet d'opposer une fois de plus les différents secteurs du bassin.

2°/ La modération des rivières cantabriques :

On a déjà vu le comportement de la principale de ces rivières, l'Ebre supérieur lui-même. Nous retrouvons les mêmes caractéristiques sur les premiers affluents de rive gauche : faibles débits bruts du fait de l'exiguïté des bassins versants, débits spécifiques compris entre 200 et 500 l/s/km², mais pouvant s'élever à de fortes valeurs aux approches des seuils basques et à l'issue de 100 à 150 km² de bassin versant. Nous pensons que le haut Zadorra doit écouler lors des plus fortes crues, au moins 1000 l/s/km². Mais A reste faible, généralement inférieur à 10 sauf à l'aval du Zadorra où il s'élève à 13. Dans ce secteur, la crue maximale représente 20 à 40 fois le débit moyen annuel. Pour des surfaces comparables, ce sont là des chiffres bien inférieurs à ceux rencontrés sur la plupart des autres rivières espagnoles, et à plus forte raison sur les petites rivières cévenoles ou catalanes.

3°/ La torrencialité pyrénéenne : ses nuances d'Ouest en Est :

Sur la carte relative à la crue maximale, on voit s'opposer

TABLEAU LXII : CARACTERISTIQUES DE LA CRUE MAXIMALE

b) AFFLUENTS PYRENEO - CANTABRIQUES									
B.V.	Rivière	Station	Période d'observation	S (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	A = Q/√S	$\frac{Q}{\bar{Q}}$	Date
	Zadorra	Arce	1948 - 49 à 1970 - 71	1 349	467	346	13	22	13-11-1961
	Ega	Andosilla	1948 - 49 à 1970 - 71	1 445	409	283	10	26	1-10-1949
A R A G O N	Arga	Echauri	1931 - 32 à 1970 - 71	1 755	1 140	650	27	29	15-10-1953
	Aragon	Jaca Caparroso	1941 - 42 à 1970 - 71 1944 - 45 à 1970 - 71	238 5 469	401 2 320	1 685 4 21	26 31	50 30	6-11-1965 9-11-1966
	Iraty	Liedena	1948 - 49 à 1970 - 71	1 546	952	615	23	24	2-2-1951
	Gallego	Ardisa	1945 - 46 à 1970 - 71	2 040	1 070	525	24	31	6-6-1960
C I N C A	Cinca	Fraga	1948 - 49 à 1970 - 71	9 612	2 195	229	22	28	6-10-1963
	Esera	Graus	1949 - 50 à 1970 - 71	895	995	1 110	33	52	3-6-1963
	Alcanadre	Lascellas	1949 - 50 à 1970 - 71	501	219	437	10	57	22-11-1961

TABLEAU XLII : CARACTERISTIQUES DE LA CRUE MAXIMALE

c) AFFLUENTS IBERIQUES								
Rivière	Station	Période d'observation	S (km ²)	Q (m ³ /s)	q (l/s/km ²)	A = Q S	Q/Q̄	Date
Tiron Najerilla Iregua	Cuzcurrida	1931 - 32 à 1970 - 71	698	87,4	125	3	17	03/1933.
	Torremontaño	1949 - 50 à 1970 - 71	1 098	220	200	7	15	23-11-59
	Islallana	1931 - 32 à 1970 - 71	573	140	244	5,8	23	17- 3-51
Jalon Jiloca	Huermeda	1944 - 45 à 1970 - 71	7 164	340	47	4	21	28-5-56
	Daroca	1945 - 46 à 1970 - 71	2 202	80 ^x	36	1,7	19	30-7-60
Huerva Martin Guadalope	Mezalocha	1946 - 47 à 1970 - 71	620	34 ^x	55	1,3	38	26-2-47
	Hijar	1948 - 49 à 1970 - 71	1 419	140	98	3,7	94	21-11-59
	Alcaniz	1948 - 49 à 1970 - 71	3 476	644	185	11	88	15-10-57

(Les débits marqués d'un x correspondent à une moyenne journalière et non à un maximum instantané).

deux et même trois secteurs : un secteur occidental couvrant le vaste réseau de l'Aragon , un secteur médian du haut Aragon au Cinca et à la Ribagorzana, et un secteur oriental plus réduit mais bien individualisé constitué par les bassins du Sègre et de la Pallaresa.

- Les deux premiers secteurs se caractérisent par des crues volumineuses, donnant de forts débits bruts. On a enregistré plus de 2000 m³/s sur l'Aragon (novembre 1966), sur l'Arga (décembre 1926), sur le Cinca (octobre 1966 et sans doute novembre 1919). Notons toutefois que si ce chiffre représente pour le Cinca un événement point extraordinaire, puisque sa période de retour est inférieure à 20 ans, il n'en est pas de même pour l'Aragon et l'Arga, où il s'agit de phénomènes exceptionnels dont le temps de recurrence est de 60 ans pour l'Aragon. D'ailleurs, si le chiffre de 1000 m³ a été dépassé 16 fois depuis 1913 sur le Cinca, l'Aragon lui, pour la même période n'a roulé de semblables débits quetrous fois seulement ! Les bassins plus petits, de 1000 à 2000 km², Iratí, Arga à Echaurri, Gallego, Esera, Cinca à El Grado, ont donné des crues de l'ordre du millier de m³/s. Dans l'ensemble, la crue maximale à l'aval des grands affluents représente 28 à 30 fois le module ; plus haut, à l'issue de quelques centaines de km², elle vaut 50 fois ce module, et même sur la Ribagorzana, à Pont de Suert, c'est par 61 que le débit moyen annuel s'est trouvé multiplié lors de la terrible catastrophe d'août 1963.

En ce qui concerne les débits spécifiques, on constate là aussi, de très forts écoulements, supérieurs à 1000 l/s/km², sur tous les hauts bassins pyrénéens de ces secteurs, mais les records se situent dans une zone allant du haut Aragon à la haute Ribagorzana. Là, la crue maximale, celle d'août 1963 pour les réseaux du Cinca et de la

Ribagorzana, de novembre 1965 pour le haut Aragon a écoulé plus de 1500 l/s/km². Les chiffres les plus élevés nous ont été donnés par l'Esera à Villanova, avec 1760 l/s/km² pour 568 km² de B.V., et par la haute Ribagorzana où l'on a mesuré 1857 l/s/km² pour 323 km² à Pont de-Suert et plus de 3000 l/s pour 149 km² à Ginaste. Pour des réseaux plus vastes, les valeurs sont de l'ordre de :

800 à 1000 l/s/km ²		pour 600 à 1000 km ² .
500 à 700	"	2 à 3000 km ² .
400	"	5000 km ² .
220	"	les 9600 km ² du Cinca.

Quant aux coefficients A, bien que relativement élevés, ils sont loin d'approcher les records méditerranéens, lesquels ont atteint et même dépassé 100 sur maintes rivières de Sardaigne, Ligurie, Calabre, Catalogne et Cévennes. Ici, deux noyaux supérieurs à 30 se dessinent, l'un sur l'Arga inférieur et l'Ebre en aval du confluent de l'Aragon, l'autre sur les hauts bassins de la Ribagorzana et de l'Esera, soulignant le secteur le plus affecté par la catastrophe d'août 1963. Le maximum relevé : 42 se situe sur la Ribagorzana, au confluent de la Noguera de Tor. Les trois grands collecteurs des hautes Pyrénées ont un coefficient A compris entre 20 et 30 tout au long de leur cours, sauf à l'amont, près des sources où il tombe à des valeurs plus basses.

- Contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, le Sègre, malgré sa position sur le versant méditerranéen, fait preuve depuis 1948 au moins d'une modération étonnante, contrastant avec la violence des rivières voisines. Ici, le maximum enregistré depuis cette date s'élève seulement à 768 m³/s pour 13 000 km². Il est vrai qu'en des

époques plus lointaines, ce chiffre a pu être dépassé, comme on le verra plus loin. La même faiblesse s'observe aujourd'hui sur la Pallaresa où la crue de 1967 a donné seulement 486 m³/s à Collegats. Mais il s'agit là d'une moyenne journalière et non d'un maximum instantané. Malheureusement nous n'avons guère de données en ce qui concerne ces maxima si ce n'est le chiffre plus ou moins sûr de 888 m³/s pour la crue de juin 1956.

Cette faiblesse des débits bruts s'accompagne d'une relative indigence des débits relatifs. L'étude de l'écoulement maximum révèle des chiffres

- inférieurs à 100 l/s/km² à partir de 7800 km²
- compris entre 100 et 200 l/s/km² entre 7800 et 3300 km²
- compris entre 200 et 500 l/s/km² entre 3300 et 1200 km².

Vers l'amont, contrairement à ce qui se passe sur la plupart des rivières, les valeurs de l'écoulement n'augmentent pratiquement plus. Ainsi la crue de juin 1953 a donné 505 l/s/km² à la Seo de Urgel pour 1230 km² et le même chiffre à Puigcerda pour 300 km². Avec 500 l/s/km² au-delà de 1600 km², la Pallaresa est un peu mieux pourvue. Mais ce chiffre ne doit pas grossir beaucoup vers l'amont où l'on doit avoir une évolution comparable à celle que l'on vient d'observer sur le haut Sègre. Il y a là, sur ces hauts bassins une stagnation tout à fait remarquable des débits, résultant de ces phénomènes d'abri dont on a déjà vu l'incidence sur les gradients pluviométriques et les modules.

La situation se modifie assez sensiblement si l'on considère les crues plus anciennes, en particulier celles de 1937 et 1907, qui reflètent le vrai tempérament des rivières de ce secteur. Il apparaît alors que les très forts débits qui semblent être aujourd'hui

l'apanage des rivières du secteur occidental et central de la chaîne, pyrénéenne, se trouvaient aussi sur les rivières des pyrénées orientales ; à l'exception toutefois des hauts bassins de la Pallaresa et du Sègre, et même du Sègre moyen qui semblent avoir été de tous temps assez peu torrentiels. En 1937 en particulier, ces rivières ont peu réagi, alors que le Flamisell débitait à son confluent avec la Pallaresa, 720 m³/s, correspondant à 1760 l/s/km². La Pallaresa roulait alors 500 l/s/km² tout au long de son cours inférieur, et le Sègre, aujourd'hui si modéré faisait déferler sur la cuvette de Lérida une vague de 3650 m³/s soit 300 l/s/km². Le Cinca lui aussi semble avoir été plus violent dans le passé. La crue d'octobre 1907 a été évaluée à 3900 m³/s, à Fraga, 2300 à el Grado et 1500 à Ainsa, soit respectivement 410, 1000 et 1800 l/s/km².

Les coefficients A reflètent ces différences. Pour la période contemporaine, ils tombent au-dessous de 20 à l'Est du Flamisell, et ne dépassent guère 30 dans le reste du bassin du Sègre-Cinca. Les crues du début du siècle ont donné par contre les chiffres suivants :

Sègre à Lérida	A = 35 en octobre 1937.	"
Flamisell au confluent	A = 3,85 en octobre 1937	
Cinca à Fraga	A = 40 en octobre 1907	
Cinca à Ainsa	A = 52	"

Si ce chiffre est vraiment exact, il constitue un record pour le bassin de l'Ebre.

Ainsi l'étude de la puissance des crues sur le versant Pyrénéen a-t-elle révélé des différences de comportement en fonction du secteur et aussi de l'époque, c'est à dire non seulement des fluctuations du climat, mais surtout des aménagements humains. Il est intéressant de comparer cette situation à celle du versant français et pour

cela, nous donnons ci-dessous quelques chiffres empruntés à M. Pardé (1961) relatifs aux bassins de la Garonne et de l'Adour.

<u>Rivière</u>	<u>Station</u>	<u>S (km²)</u>	<u>Q (m³/s)</u>	<u>Q (l/s/km²)</u>	<u>A</u>	<u>Date</u>
Adour	Tarbes	400	400	1 000	20	23-6-1875
Gave d'O.	Oloron	1062	1000	950	30	12-6-1889
Gave de Pau	Lourdes	1071	500	500	16	11-6-1885
Ariège	La Croix de F.	4700	3100	740	45	6-1885
Garonne	Muret	5700	5100	900	67	6-1885
Garonne	Toulouse	10000	8000	800	80	6-1930

L'examen de ce tableau permet de tirer des conclusions suivantes :

1) Pour de petits bassins du secteur central et occidental, les rivières espagnoles soutiennent la comparaison avec celles du versant français parfois même, se montrent plus virulentes. C'est le cas du haut Cinca qui affiche un module maximum de 617 m³/s et un coefficient A de 21 pour 835 km² (1), tandis que son voisin de naissance, le Gave de Pau, n'atteint que 500 l/s/km² et 16 pour le coefficient A à l'issue de 1071 km² de bassin versant.

2) Par contre, sur le tiers oriental de la chaîne, les rivières françaises l'emportent nettement. Avec A = 45, l'Ariège manifeste une torrentialité plus forte que le Sègre, même si l'on considère le Sègre non aménagé.

(1) Et peut-être même 1800 l/s/km² et A = 52, si les chiffres avancés pour la crue de 1907 sont bien exacts.

3) Pour des bassins plus vastes, de 5 à 10000 km² la supériorité des crues du versant N. est encore plus flagrante puisque la Garonne a atteint pour A : 67 et 80 à l'issue de 5700 et 10000 km² de B.V., contre 31 et 35 pour l'Aragon et le Sègre qui offrent des surfaces comparables.

Ainsi malgré leurs fortes crues, responsables de catastrophes restées tristement célèbres, on pense surtout aux inondations d'août 1963 dans les hautes vallées aragonaises et d'octobre 1937 dans le bassin du Sègre, les rivières des Pyrénées espagnoles ne sont pas plus dangereuses que leurs voisines françaises, et surtout que bon nombre de petits organismes méditerranéens. La puissance de leurs colères n'en est pas moins remarquable, et elle est d'ailleurs responsable des plus grosses crises de l'Ebre lui-même. Bien différent est le comportement des rivières du versant sud.

4) L'inertie des rivières ibériques :

Ici en effet, les crues sont rares, généralement de faible ampleur, incapables de hausser les débits de l'Ebre au niveau d'un débit de crue. Mais comme dans le domaine climatique trois secteurs sont à considérer :

- A l'amont, sur les rivières descendues de l'ensemble Demanda-Urbion, la crue maximale présente des caractères assez proches de ceux du secteur cantabrique. Les modules spécifiques sont du même ordre : 200 à 500 l le plus souvent, un peu plus à l'amont pour les rivières dont les sources sont les plus élevées. Mais les débits bruts restent modestes vu l'exigüité des bassins, et les coefficients A sont très faibles, inférieurs à 10 et même à 5 en dehors des vallées de

1. Iregua et du Najerilla.

- Dans notre monde méditerranéen aux rivières souvent nerveuses, le Jalon et son affluent le Jiloca nous étonnent par leur faible sensibilité et la rareté de leurs crues. L'immense Jalon n'a donné à l'issue de 7000 km² de bassin qu'un débit maximum de 340 m³/s représentant un écoulement de 47 l/s/km² seulement. Encore ce phénomène est-il de fréquence particulièrement faible. Bien abrité dans sa vallée tectonique, et poussant sa tête de source très avant vers la Meseta, le Jiloca remporte tous les records de faiblesse du bassin avec des crues qui n'ont jamais, depuis 1918 au moins, dépassé 80 m³/s pour 2250 km² de bassin. Sans doute, ce sont là des débits journaliers, il n'y a malheureusement pas de limnigraphe sur cette rivière, mais les maxima instantanés ne doivent pas aller très loin au-delà. En admettant un écoulement de 70 l/s/km² qui nous paraît un maximum, cela donnerait une crue de 150 m³/s.

Cette faiblesse généralisée se traduit par des coefficients A particulièrement bas, partout inférieurs à 5 et pouvant même tomber sur les rivières karstiques comme le Mesa à 0,6 !

- Avec le Guadalupe moins continental, au bassin de relief plus varié, la situation s'anime quelque peu; trois fois depuis 1957, date de la crue maximale, le débit a dépassé 600 m³/s soit 82 fois le module et si les débits spécifiques restent encore modestes, le coefficient A s'est élevé à 28 sur le Bergantes affluent de rive droite.

5) Au-delà du Guadalope, sur le haut Matarraña, l'influence méditerranéenne est responsable d'un certain nombre de crises automnales caractéristiques de ce milieu. La crue d'octobre 1957 a donné ici des débits de 1500 l/s/km². Mais le coefficient A reste faible, et l'on est loin des violences catalanes ou cévenoles; mais cette situation annonce toutefois ce qui se passe sur l'autre versant de la cordillère littorale. D'autre part, les ravins qui débouchent sur la huerta tortosane et qui, lors des orages méditerranéens peuvent sortir brusquement de leur sommeil ont certainement fourni des débits spécifiques et des coefficients semblables à ceux de nos petits organismes languedociens ou cévenols. Nous n'avons malheureusement aucune donnée chiffrée concernant ces phénomènes, mais les récits effrayants qui nous sont faits de la "sortie" de ces "barrancos" laissent prévoir lors de ces crues très localisées, des valeurs extraordinaires.

C H A P I T R E I I

LE MECANISME DES CRUES

SECTION I - VITESSE DE TRANSLATION DES FLOTS DE CRUE -

La vitesse de propagation de l'onde de crue au long du fleuve et dans une certaine mesure sur les affluents, est très variable. Elle varie d'un secteur à un autre en fonction de la pente, du rayon hydraulique, des sinuosités du lit, de la rugosité des berges, des ouvrages humains. Elle varie aussi pour un même secteur, d'une crue à l'autre, en fonction des conditions hydro-météorologiques, parfois aussi de l'action de l'homme qui peut ouvrir ou fermer les vannes d'un barrage de façon à retenir ou laisser passer la crue.

Sur l'Ebre, et contrairement au cas le plus courant, c'est le cours moyen qui constitue le secteur le plus lent. C'est en effet entre Castejón et Saragosse que nous avons relevé les vitesses les plus faibles. Mais le découpage qui nous est imposé par la distribution des stations de jaugeage nous masque en partie la réalité. En fait,

Fig. 67 : LES MODALITES DE LA PROPAGATION DES CRUES
AU LONG DE L'EBRE

Miranda	Castejon	Zaragoza	Fayon	Tortosa
192	133	246	92	
325		338		
		471		I
659				

I

Miranda	Castejon	Zaragoza	Fayon	Tortosa
30 (dec 59)	32 (juv 61)	26 (oct 60)	40 (jan 61)	53 (jan 61)
20	30	46 (jan 61)	12	15 (jan 61)
68 (mai 56)	3 Jours	90 (jan 60)	24 (oct 60)	2 Jours
		50 (oct 60)	2 Jours 1/2	71 (jan 61)
		124 (jan 61)		
72 (oct 60)		5 Jours		143 (jan 61)

II

Miranda	Castejon	Zaragoza	Fayon	Tortosa
6,4	6	5,2	5,1	4,4
12,3	8,2	5,3	7,7	6,1
3,6	4,5	5	14	7
		8,5	5,5	4
9,1		5,4		4,6

III

I Distances entre les stations en Km

II Temps de parcours en heures ou jours (temps minimum, moyen, maximum)

III Vitesses de propagation en Km/h (vitesse minimale, moyenne, maximale)

ces vitesses faibles, de l'ordre de 4 km/h, et souvent beaucoup moins, doivent se trouver encore en aval de Saragosse, jusqu'à Caspe, donc dans tout le secteur moyen où la pente faible, les débordements fréquents, la multiplication des méandres freinent la propagation des eaux. De part et d'autre de ce secteur, on observe des vitesses plus élevées. En amont d'abord, en fonction de pentes plus fortes, mais aussi, et c'est là une des originalités de ce fleuve, à l'aval, sur le parcours Caspe-Tortosa. Là en effet, le resserrrement des berges, l'accentuation de la pente, l'absence ou la faiblesse des débordements imposent au flot de crue des vitesses beaucoup plus rapides, de l'ordre de 8 km/h, et jusqu'à 10, 12 et peut-être 14 km/h ! Ce sont là les valeurs élevées pour un cours inférieur. Pour le Guadalquivir, qui nous est présenté par J. R. Vanney (1970) comme un fleuve aux crues rapides vers l'aval, 8 km/h représentent un maximum. Sur le Tage, V. Masach Alavedra a relevé des vitesses de 8,4 km/h entre Vila Velha et Santarem (décembre 1912) et 9,5 km/h entre Vila Velha et Abrantes (décembre 1909). Ces valeurs, qui constituent pour le Tage des maxima, correspondent sur l'Ebre, et dans des secteurs comparables, à des vitesses courantes lors des grandes crues. Avec des records de 12 à 15 km/h sur le trajet international, le Douro est le seul grand fleuve d'Europe occidentale à être aussi rapide, et peut-être une peu plus rapide que l'Ebre. En France, sur la Loire inférieure, les crues ne se propagent qu'à raison de 2 à 3 km/h, et sur les grands fleuves de l'Europe du Nord, on trouverait des vitesses plus faibles encore.

Mais pour un même secteur, on constate des différences de rapidité qui vont parfois du simple au double d'une crue à une autre. C'est ainsi que la dernière crue d'octobre 1960 s'est propagée à près

de 10 km/h depuis Castejon jusqu'à Tortosa. Avec une vitesse moyenne de 3,8 km/h pour le même parcours, la crue de janvier 1961 au contraire a remporté tous les records de lenteur. La première est une crue pyrénéenne, provoquée par des rivières à pente forte, donc vitesse élevée, la deuxième est une crue générale, se présentant à partir de Castejon sous la forme d'une grosse intumescence qui a dû être freinée dans son déplacement par les vastes débordements du cours moyen. D'une façon générale, les crues pyrénéennes sont certainement beaucoup plus rapides que les crues d'amont. Mais il est malheureusement impossible de quantifier la différence en l'absence d'une bonne station de jaugeage immédiatement à l'aval de la confluence du Sègre, station qui permettrait de comparer les vitesses de translation des crues de différents types. D'autre part, il doit exister un débit optimum de crue pour lequel la vitesse de propagation est maximale, en deça duquel, le rayon hydraulique diminuant, la vitesse diminue aussi, et au-delà duquel les débordements constituent à nouveau un facteur de freinage. Enfin, pour l'avoir constaté lors de maintes crues, en particulier en octobre 1960, on peut dire que les vitesses les plus élevées s'observent dans les cas d'ondes successives et sur la deuxième ou troisième onde.

SECTION II - EVOLUTION DES CRUES : TEMPS DE MONTEE - DUREE - TYPES

D'HYDROGRAMMES -

A - SUR LES GRANDS AFFLUENTS, comme sur le collecteur, le temps d'évolution et l'allure générale de l'hydrogramme sont liés à deux types de faits :

- l'un permanent : les caractères morphologiques des rivières et l'organisation du réseau qui commande le mode de concordance des flots élémentaires,

- l'autre occasionnel : les conditions météorologiques qui ont déclanché la crue, et aussi l'état des sols.

- Il faut signaler aussi des causes fortuites qui ont pu jouer lors d'événements anciens : embacles par exemple comme en janvier 1871 à Saragosse, débacles, ruptures de digues...

Ainsi s'opposent en fonction de l'agencement des artères dans les bassins élémentaires, trois types d'hydrogrammes : ceux de l'Aragon, du Cinca et du Gallego, et celui du Sègre

- L'hydrogramme de l'Aragon est caractérisé par une base largement ouverte, car la crue dure généralement trois à cinq jours, parfois davantage, en particulier lors des fortes ondes d'hiver : celles de janvier 1960 et de novembre 1966 ont mis une semaine à s'écouler. La montée des eaux, relativement lente, représente à peu près la moitié du temps total, parfois un peu moins. Ainsi en 1952, le maximum a été atteint en un jour et demi, ce qui représente une vitesse d'élévation du niveau de 6,90cm/h. La crue maximale de l'Aragon de novembre 1966, d'évolution beaucoup plus lente a mis quatre jours et demi pour s'élever à 4,75 m. à la vitesse de 30cm/h seulement.

- L'hydrogramme très pointu, du Gallego à Ardisa, traduit une évolution beaucoup plus rapide (cf. juin 1960). L'onde balaie le lit en 24 ou 48 heures, puis tout rentre dans l'ordre. La crue de février 1952 qui a duré quatre jours et demi, est assez exceptionnelle. Généralement, la montée des eaux est très rapide : 45 cm/h pour la crue

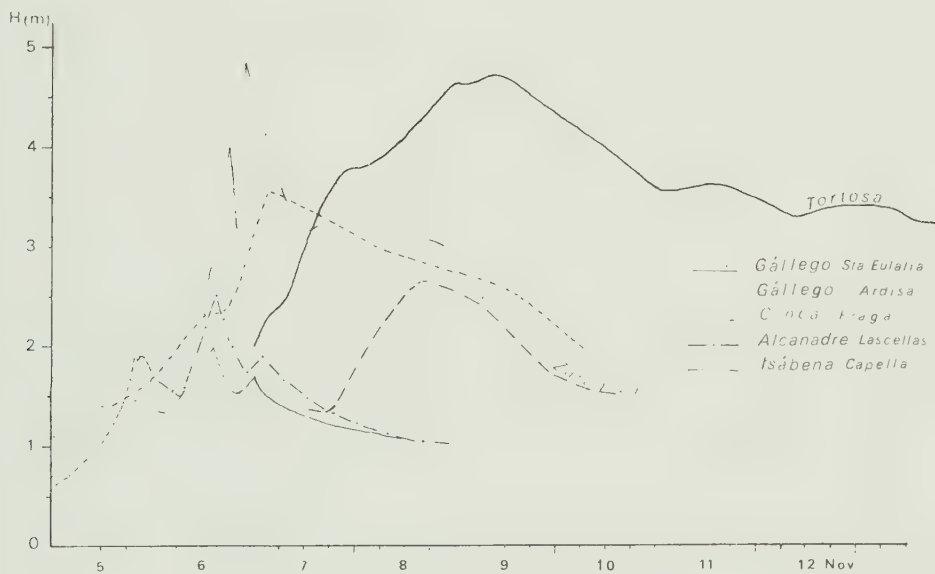
maximale de juin 1960 qui a mis huit heures seulement pour atteindre son maximum.

Bien que moins aigu, l'hydrogramme de Fraga reste du même type. A l'avant de la vague, la courbe de croissance est encore très redressée et le sommet est atteint en 18 ou 36 heures pour les grosses crues méditerranéennes de printemps ou d'automne : celle d'octobre 1965, la plus forte du siècle est montée à raison de 12,50 cm/h. En hiver l'évolution est souvent moins rapide : en janvier 1960, le maximum est atteint en trois jours et demi soit 3,20 cm/h seulement. La durée totale du phénomène est plus grande que pour le Gallego, car l'hydrogramme est plus ouvert, et il est généralement dissymétrique, la décrue étant le plus souvent plus lente que la venue des eaux.

- L'hydrogramme du Sègre à Seros, et plus encore à Balaguer, est totalement artificiel (cf. novembre 1966, fig. 76). Il se présente sous la forme de paliers étagés, séparés par de profondes vallées et correspondant à l'ouverture et à la fermeture des vannes des retenues. Ainsi la crue est à la fois écrêtée et étalée dans le temps. Avant l'intervention de l'homme, le Sègre inférieur, était capable de violentes colères comme ce fut le cas lors de la catastrophe de 1937 au cours de laquelle le premier maximum fut atteint en 18 h seulement après une montée vertigineuse du niveau des eaux.

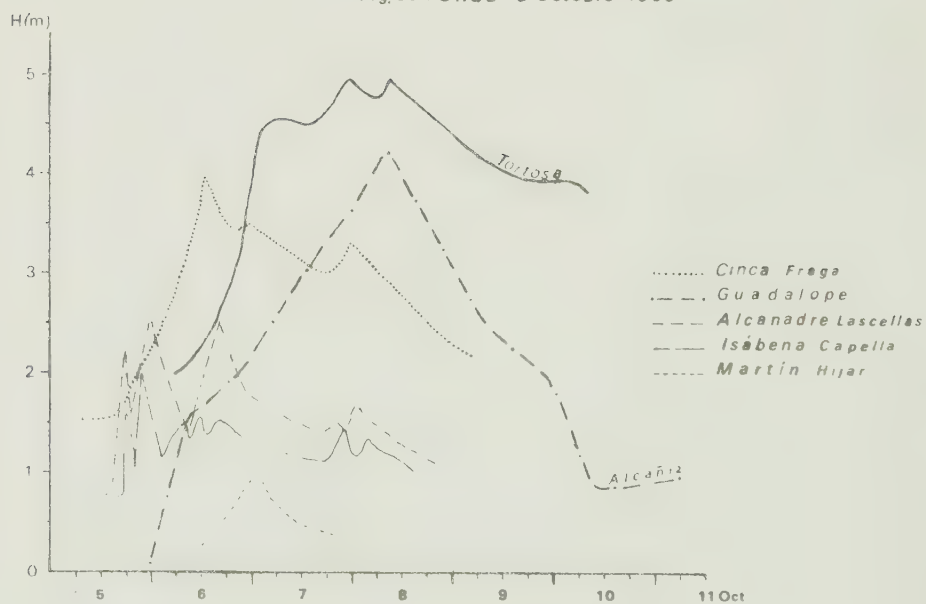
Ces différences de comportement d'une rivière à l'autre s'expliquent par le mode d'écoulement des eaux dans le lit de la rivière et par les modalités de convergence des flots élémentaires. Une pente rapide, un lit étroit et profond, l'absence de débordement, de bonnes convergences si l'organisme est complexe, déterminent généralement un hydrogramme pointu. Si l'onde est au contraire freinée dans sa pro-

Fig.68: CRUE de Novembre 1965



568

Fig.69: CRUE d Octobre 1965



pagation, si d'autres ondes interfèrent en discordance, l'hydrogramme s'étale, le sommet s'émousse, et parfois se dédouble, la courbe se complique.

Ainsi sur l'Aragon, la crue est très pointue à Jaca où elle est constituée par une onde simple à vitesse de translation rapide. A Yesa, à la sortie de la "Canal de Berdun", si le volume a augmenté, la forme de la courbe n'est pas sensiblement modifiée, ce qui suppose une bonne concordance des flots de la série des affluents de rive droite. C'est l'arrivée de l'Irati au niveau de Sangüesa qui amorce l'étalement de l'hydrogramme, et ce phénomène s'accroît tout au long du parcours Sangüesa-Caparroso où les débordements, la faiblesse des pentes, freinent la progression d'une intumescence que ne soutient plus aucun apport valable.

Le Gallego, organisme réduit pratiquement à une seule artère de pente relativement élevée, a des crues simples. Chaque épisode pluvieux donne une pointe généralement très accusée et bien individualisée. Il est vrai que la plus basse station de jaugeage dont nous disposons, celle de Ardisa, est située au débouché de la zone sous-pyrénéenne, à 75 km environ du confluent. Les crues doivent donc s'étaler quelque peu dans le secteur aval de l'affluent, mais certainement beaucoup moins que sur l'Aragon vu les pentes plus accentuées et le tracé plus direct de la rivière.

L'hydrogramme relativement pointu et simple du Cinca s'explique par la rapidité de l'écoulement dans un lit étroitement corseté par de hautes falaises calcaires, et aussi par une remarquable concordance des flots de la rivière et de ses principaux affluents : Esera, Isabena, Alcanadre. L'étude des bandes d'enregistrement nous a montré

en effet que les maxima de ces trois rivières passaient à peu près en même temps à Lascellas pour l'Alcanadre, Graus pour l'Esera, Capella pour l'Isabena. Il leur faut ensuite 12 à 13 heures pour gagner Fraga à l'aval. Dans ces conditions, au niveau du dernier confluent s'opère entre ces ondes la fusion qui donne à Fraga la courbe simple que nous connaissons.

L'hydrogramme du Sègre est toujours très complexe du fait de l'influence des barrages et aussi dans certains cas de la discordance des flots élémentaires. Ces discordances nous les avons observées essentiellement à l'amont, à la Seo de Urgel, où le flot des Valiras passe généralement le premier, précédant de quelques heures celui du Sègre. Lors de la crue pyrénéenne du 3-6 octobre 1960, le maximum du Valira passait à la Seo le 4 à 4 h. du matin, celui du Sègre était à Puigcerda 4 heures plus tôt seulement, ce qui est insuffisant pour que la fusion soit réalisée. A la sortie du premier bassin, celui d'Oliana, un changement radical est réalisé. L'hydrogramme est tronqué et la crue, pointue à son entrée, en sort écrêtée et pratiquement inoffensive au moins pour les phénomènes de fréquence non exceptionnelle. Cette action est renforcée par celle des barrages suivants et par le rôle régularisateur des chapelets de bassins qui s'égrennent au long de la Pallaresa et de la Ribagorçanna. Ainsi, sont en grande partie neutralisées les convergences naturellement fort dangereuses du cours inférieur, convergences qui devraient donner à Lerida et Seros des graphiques très aigus comme en octobre 1937. Au lieu de cela, on a des flots étalés se maintenant plusieurs heures à des niveaux bien inférieurs à ceux atteints autrefois.

Tout ceci peut-être nuancé en fonction des conditions météo-

rologiques et des conditions de ruissellement (état de saturation ou d'encroûtement des sols). Temps et vitesses peuvent être plus ou moins accélérés. D'une façon générale, on constate que les crues d'automne ou de saison chaude sont celles dont l'évolution est la plus rapide (cf. juin 1960). Les crues d'hiver sont souvent moins brutales mais plus gonflées et plus lentes (cf. février 1952). Dans un cas comme dans l'autre, elles peuvent présenter plusieurs pointes correspondant à plusieurs paroxysmes pluviaux. Mais en automne, tant que les nappes ne sont pas reconstituées, les pointes sont mieux détachées.

Il reste à voir comment interfèrent sur le collecteur ces ondes élémentaires, et les types d'hydrogrammes auxquels donnent lieu ces concordances et discordances.

B - EVOLUTIONS DES CRUES EN DIFFERENTS POINTS DU COURS DE L'EBRE -

- Au niveau de Miranda, l'Ebre n'a encore reçu aucun affluent important, et il sort d'un bassin climatiquement homogène, de sorte que l'hydrogramme type est simple et relativement aigu, au moins dans la phase paroxysmale (cf. décembre 1959 et novembre 1966. fig. 79 et 76). La durée totale du phénomène semble très variable et doit dépendre non seulement des conditions hydro-météorologiques, mais aussi de l'état de la retenue de Reinosa et de ses possibilités d'amortissement de l'onde. Ainsi la première crue de décembre 1959 est passée en deux jours seulement et le niveau s'est élevé de 1,75 m à 5,40 m en 24 h., soit à la vitesse record, pour cette station de 15,20 cm/h. Par contre, en janvier 1960 comme en novembre 1966 la rivière est montée progressivement en quatre jours et demi et le temps total fut de six

jours. L'évolution la plus rapide semble se produire dans le cas de pluies nettement cantabriques.

- La confluence du Zadorra, en aval de Miranda ne modifie guère la situation et l'hydrogramme de Mendavia reproduit à peu de choses près celui de Miranda, avec un simple décalage dans le temps (en janvier 1960, ce décalage est d'une douzaine d'heures).

- La courbe de Castejon traduit une situation désormais plus complexe et variable selon l'origine de la crue. L'hydrogramme semble plus étriqué dans le cas d'une origine cantabrique, plus étalé dans le cas d'une origine aragonaise, ce qui est conforme aux situations rencontrées respectivement à Miranda et Caparroso. Ajoutons qu'une pluie cantabrique affecte toujours plus ou moins le haut bassin de l'Aragon et inversement, une crue de l'Aragon laisse rarement indifférent l'Ebre supérieur. Or, étant donné la discordance entre les deux flots au niveau de Castejon, celui de Miranda arrivant toujours 24 à 36 heures après celui de l'Aragon, deux types de graphiques peuvent se présenter au-delà de la confluence :

Si le plus gros débit est apporté par l'Aragon (novembre 1966) la courbe de Castejon reflète fidèlement celle de Caparroso, mais présente à l'arrière un gonflement correspondant au flot attardé de Miranda. Lorsqu'il s'agit comme en décembre 1959 d'une crue de bassin supérieur, l'intumescence de Castejon représente le flot de l'Ebre, celui de l'Aragon ne constituant alors qu'une boursuflure à l'avant de l'hydrogramme, sur la courbe de montée

A Saragosse, la courbe déjà très ample de Castejon s'adoucit encore pour donner une vague de grande longueur d'onde qui met 6 à 7 jours pour s'écouler et même 9 jours lors de la crue maximale de l'hi-

ver 1960-61, et 12 jours en janvier 1960. A Saragosse, le long du Pont de Pierre et du Pont St Jacques, le niveau s'élève lentement à raison de 2 à 5 cm/h et le maximum est atteint en 3 à 6 jours. Alors s'amorce la décrue, généralement un peu plus rapide que la montée. Dans l'ensemble, l'évolution reste régulière, le long trajet Castejon-Saragosse, privé de confluence majeure ayant lissé la courbe et fait disparaître la trace des flots élémentaires.

- A Tortosa, les phénomènes sont plus variés et souvent plus complexes du fait de l'intervention de nouveaux affluents, en particulier du Sègre-Cinca, A ce niveau, l'évolution de la crue et sa durée dépendent de son origine, proche ou lointaine, du nombre des rivières ayant participé à l'intrumescence, et de la façon dont se font les concordances.

- Les crues à évolution rapide sont toujours des phénomènes d'origine rapprochée, nés sur le Guadalope et surtout le Sègre ou le Cinca. Leur passage est d'autant plus rapide qu'elles se produisent plus avant dans la saison chaude. En juillet 1960, à la suite de violents orages qui se sont abattus entre Esera et Pallaresa, le niveau de l'Ebre s'est élevé à Tortosa de 2,75 m en 18 heures soit à une moyenne de 15,3 cm/h tandis que la totalité de la vague s'écoulait en deux jours et demi. Lors des crues d'automne ou de printemps, l'évolution est généralement un peu moins rapide : 10, 11 cm/h. constituant des vitesses de montée fréquentes pour des oscillations qui durent en moyenne 5 à 6 jours. D'autre part, sauf dans le cas, assez rare, où une seule rivière est responsable de l'essentiel de la crue comme en juin 1953 (crue maximale du Sègre supérieur), l'hydrogramme est dissymétrique, et ceci résulte de la discordance entre les flots des diffé-

rentes rivières, en particulier du Cinca et du Sègre. On sait en effet que les eaux de ce dernier débouchent dans l'Ebre un jour et demi environ après le passage des eaux du Cinca. Comme les crues du Cinca sont en général plus volumineuses, l'hydrogramme type d'une crue pyrénéenne d'automne présente un premier maximum assez aigu, rapidement atteint, et le long de la courbe de décrue en pente douce, un palier correspondant au flot du Sègre (ex : 5-6 octobre 1960, juillet 1960, mars 1960...). Lorsqu' l'aire de mauvais temps atteint le Gallego, le flot de cet affluent peut rejoindre celui du Sègre pour former le maximum. C'est alors la courbe de montée qui est affectée d'un palier correspondant à la vague du Cinca (ex : novembre 1965). Dans le cas assez fréquent de pluies méditerranéennes extensives, toutes les rivières pyrénéennes sont affectées jusqu'au haut-Aragon inclus. Il en fut ainsi par exemple en juin 1960. On peut alors parfois deviner, sur la courbe de décrue, le flot très attardé de l'Aragon. Ainsi en juin 1960, (cf. fig. 72), la baisse des eaux fut interrompue pendant près d'un jour et demi par le passage de l'onde aragonaise en arrière d'un maximum provoqué par une conjonction assez exceptionnelle du Gallego du Cinca et du Sègre. La crue du Gallego s'étant produite un jour avant celle du Cinca a pu rejoindre cette dernière à Mequinenza, tandis que le Sègre, atteint seulement sur son cours inférieur, réagissait assez faiblement, mais sans prendre de retard.

Ainsi, les différentes possibilités de concordance, les nuances dans l'importance respective des crues élémentaires, engendrent autant de variétés d'hydrogrammes lors des crues pyrénéennes, mais toutes ont une dénomination commun : une certaine rapidité dans la marche des phénomènes, surtout dans la phase ascendante.

- Les crues à évolution lente :

- Ce sont d'abord des crues de haut bassin, cantabriques ou vasco-cantabriques, constituées en amont de Castejon et qui, du fait du freinage qui s'opère pendant un trajet long et sinueux à travers la Dépression Centrale, tendent à s'étaler et le plus souvent à s'aplatir. Il en résulte des temps d'évolution particulièrement lents pour des crues généralement simples et de faible débit. Ainsi en décembre 1962 et décembre 1965, des vagues qui ont culminé respectivement à 1912 m³/s et 1699 m³/s se sont écoulées en une dizaine de jours. Mais c'est surtout dans la phase ascendante que réside la différence entre ces phénomènes et ceux d'origine pyrénéenne. Dans le cas qui nous occupe cette phase dure 4 à 5 jours, au lieu de 1 jour à 1 jour et demi dans le type précédent.

- De même les crues généralisées sont particulièrement durables - ce sont même les plus durables -, du fait de l'intervention, à plusieurs jours d'intervalle, des différents affluents. Ainsi en novembre 1966, une première poussée le 7 a été provoquée par le Cinca, le passage du flot du Sègre a permis ensuite le maintien des eaux à un niveau élevé en attendant la crue d'amont qui a défilé entre le 12 et le 15. Au total, ces diverses ondes ont mis 13 jours à s'écouler. L'énorme intumescence de janvier 1960 correspondant à la 2ème crue des 25 dernières années, a mis elle aussi 13 jours pour passer devant Tortosa, dont 6 jours pour atteindre son maximum à 6,85 m. Trois pointes très liées s'esquissent sur l'hydrogramme, provoquées la 1ère par le Cinca et le Gallego, la 2ème et la 3ème par deux poussées successives de l'Aragon dans lesquelles sont venues se fondre les poussées corres-

pondantes de l'Ebre supérieur.

- Le cas le plus spectaculaire de crue durable est celui de décembre 1959 (cf. fig. 79). Des pluies répétées affectant tantôt le bassin amont, tantôt les rivières pyrénéennes, ont provoqué au cours de ce mois 3 montées principales successives entre lesquelles, grâce à des résidus pluvieux et à un fort écoulement des sources, le niveau n'est jamais descendu au-dessous de 5 m (sauf le court intervalle du 27-28 décembre situé d'ailleurs tout à l'arrière de la cuve). Au total l'Ebre est resté en crue 34 jours consécutifs. Il a battu tous ses records de durée pour ce genre de phénomène et aussi le record de lenteur pour la montée des eaux, la phase ascendante jusqu'à la première pointe ayant duré 8 jours.

Ainsi au niveau de Tortosa, l'Ebre présente une gamme très variée de types de crues : crues simples et rapides de saison chaude, liées à orages localisés, crues rapides encore mais à l'hydrogramme plus complexe du fait de l'intervention d'un nombre plus ou moins important de rivières pyrénéennes. Crues simples mais lentes venues d'amont, crues complexes et durables enfin, dont la lenteur résulte de l'arrivée successive de nouvelles ondes provenant de rivières lointaines ou d'épisodes pluvieux multiples.

SECTION III - EVOLUTION DES CRUES D'AMONT EN AVAL -

Selon comment s'organisent les apports dans le collecteur principal, les débits peuvent augmenter d'amont en aval, diminuer ou parfois rester à peu près stationnaires.

A - LES CRUES QUI GROSSISSENT VERS L'AVAL -

Ce sont le plus souvent les crues d'origine essentiellement pyrénéennes, caractérisées par une forte participation du réseau Sègre-Cinca. Dans ce cas d'ailleurs, le versant ibérique, du Jalon au Guadalope est assez souvent affecté par l'épisode pluvieux et participe plus ou moins intensément à la crue. Ce fut le cas lors de la première crue d'octobre 1960. Le 4 et 5 de ce mois, l'Ebre est en baisse au niveau de Miranda où, avec 11 m3/s, il atteint le minimum de l'automne. A Saragosse, il réagit encore à peine, l'Aragon et le Jalon ayant peu donné. A Sastago, on voit s'amorcer une crue bien timide, ce qui prouve que le Gallego a été à peine touché par la pluie. Par contre, les 1210 m3/s de Mequinenza sont en grande partie provoqués par l'apport du Guadalope, et le débit s'élève à 1950 m3/s à Tortosa après la confluence du Sègre. En juin 1960, un épisode pluvieux affectant les Pyrénées du haut Aragon au Cinca, a donné 430 m3/s à Saragosse et 3195 à Tortosa soit un débit quintuple. A Miranda, le niveau n'a pas bougé. Une évolution quelque peu différente caractérise la crue qui s'est déroulée du 9 au 11 décembre 1959 et qui a affecté cette fois la totalité des rivières pyrénéennes. On a enregistré alors 1620 m3/s à Saragosse (moyenne du jour) apportés surtout par l'Aragon, et un débit instantané de 3060 m3/s à Tortosa, du au réseau Sègre-Cinca. Mais la pluie ayant été à peu près synchrone, du fait de l'organisation des confluences, le maximum est passé le 12 à Saragosse, et 12 heures plus tôt le 11 à midi à Tortosa. Cette absence de concordance entre les deux plus puissants affluents : l'Aragon et le Cinca fait que les crues pyrénéennes généralisées affectant la totalité de la chaîne ne parvien-

nent généralement pas à doubler de volume d'une confluence à l'autre. Il faudrait pour cela une première crue de l'Aragon coïncidant avec une deuxième crue du Cinca développée trois jours plus tard environ. Nous n'avons observé aucun phénomène semblable de grande envergure au cours des 25 années sur lesquelles ont porté notre étude, mais le fait n'est pas impossible, et s'il se produit un jour, il faudra s'attendre à voir déferler sur les huertas de Tortosa un flot de 5 à 6000 m³/s et peut-être bien davantage.

- Les crues ibériques peuvent, elles aussi, et toutes proportions gardées donner des évolutions semblables car elles apportent des débits de plus en plus importants d'amont en aval. Les crues du Jalon sont plus volumineuses que celles d'amont et sont à leur tour dépassées par celles du Guadalope. De plus, le Sègre est toujours plus ou moins affecté lors de ces événements. Les exemples de crues ibériques sont assez rares et assez peu spectaculaires et ces phénomènes étant rarement isolés, il est difficile de voir leur impact sur le collecteur principal. Citons toutefois la crue de juin 1954 sur le Jalon et le Huerva qui a gonflé les débits de Saragosse à 730 m³/s tandis que Castejon n'accusait que 470 m³/s. Plus bas, l'Aguas Vivas qui connaît alors sa crue maximale, le Guadalope, faiblement touché soutient ces débits que l'arrivée du Cinca va porter à 1362 m³, soit le double du flot de Saragosse.

- Les crues généralisées, comme cela est logique, donnent généralement de très gros débits qui ne cessent de croître vers l'aval par suite de l'intervention d'un nombre toujours plus grand de rivières. En janvier 1960, le débit a triplé de Miranda à Saragosse (738 et 2324 m³/s respectivement) et encore doublé de Saragosse à

Tortosa (4160 m³/s). La dernière crue d'octobre 1960 s'est comportée de façon à peu près semblable : 291 m³/s à Miranda, 2040 à Castejon, 1830 à Saragosse, 3150 à Tortosa. Mais il s'agit d'une crue d'automne à plus forte participation pyrénéenne et diminution de la contribution cantabrique. Les rapports de débit sont donc sensiblement modifiés en particulier de Miranda à Saragosse où ils sont multipliés par 6, tandis que de Saragosse à Tortosa, comme dans le cas précédent, ils ne parviennent pas tout à fait à doubler. Et le rapport est encore plus faible si l'on compare Castejon à Tortosa. La faible augmentation de volume entre ces deux stations est un fait courant et tout à fait remarquable dans le cas de crues généralisées comme dans celui des crues pyrénéennes intéressant toute la chaîne. Elle résulte de la non concordance des flots déjà signalée, mais aussi des gros volumes d'eau apportés à l'amont par l'Ega, l'Arga, l'Aragon, qui gonflent les débits dès Castejon, tandis que les débordements tout au long du cours moyen entraînent des pertes qui sont difficilement compensées par les apports rares et indigents du secteur Castejon-Mequinenza. Ces mécanismes peuvent d'ailleurs jouer assez puissamment pour entraîner une stagnation des débits voire une diminution entre les confluent de l'Aragon et du Sègre.

B - LES CRUES ETALES D'AMONT EN AVAL -

Dans la série des crues étudiées, nous relevons deux exemples typiques de ce phénomène :

- Celui de mai 1956 : Les pluies abondantes qui, en ce mois

de mai 1956 ont déterminé sur le Jalon la crue maximale de ce siècle, ont affecté l'ensemble du bassin moyen, rive droite et rive gauche, tandis que les deux extrémités amont et aval du domaine de l'Ebre n'ont pas été concernées. Dans ces conditions, le fleuve a accusé une crue remarquablement étale d'amont en aval, avec 2960 m³ à Castejon, 2927 à Saragosse et 2955 à Tortosa

- En février 1952, nos trois stations repère enregistrèrent respectivement 3140, 3260 et 3410 m³/s. La régularité fut donc un peu moins parfaite. Malgré ce, avec 270 m³/s, seulement d'augmentation de l'amont à l'aval, on peut encore considérer cette crue comme étale. La pluie responsable a affecté cette fois l'ensemble des Pyrénées, mais en raison de la rétention nivale sur les bassins du Gallego et du Cinca (les plus élevés), ces deux rivières ont donné des débits moins forts que ceux de l'Aragon, capables seulement de maintenir le volume global.

- Un troisième exemple un peu différent nous est fourni par la crue maximale de l'Ebre de janvier 1961 ; crue générale, mais avec très forte participation de l'Aragon, d'où l'évolution suivante : Castejon, 4950 m³/s, Saragosse 4130, donc diminution par suite des pertes de débit qu'ont occasionné les inondations importantes de la région Alfaro, Tudela. La contribution du Gallego ayant compensé les volumes d'eau abandonnés dans la plaine de Pina, le débit à Sastago se maintient à 4160 m³/s et la contribution du réseau du Sègre va le porter à Tortosa à 4580 m³/s. Lorsque le Sègre et le Cinca ne participent pas à la crue, on a alors des débits qui diminuent nettement d'amont en aval.

C- LES CRUES QUI S'APLATISSENT A L'AVAL -

Ce sont celles qui se développent à l'amont du bassin, dans le secteur cantabrique ou pyrénéo-cantabrique. Elles sont provoquées par des pluies dont l'aire s'étend généralement du haut-Ebre jusqu'à l'Aragon Subordana, et couvre parfois le secteur nord-ouest de la Cordillère Ibérique. Dans ce cas, le fleuve est alimenté jusqu'au niveau de Castejon seulement, où sont atteints les débits maxima. Au-delà, par suite de l'inertie des autres affluents, la crue s'estompe progressivement et l'hydrogramme s'aplatit. Ce fut le cas lors des crues cantabriques de janvier et décembre 1965. La première donna 432 m³/s à Miranda, 2786 à Castejon, 2390 à Saragosse, 1699 à Tortosa. En décembre pour les mêmes stations, on releva successivement 670, 2394, 2565, et 1129 m³/s. Cet aplatissement peut être constaté même dans le cas de crues plus générales comme celle de novembre 1966, du fait de la non concordance très fréquente des flots des principaux affluents. Deux conditions doivent alors être réalisées pour qu'une telle évolution soit observée : il faut une pluie synchrone sur les Pyrénées, et une crue plus forte sur l'Aragon que sur le Cinca. Ainsi, la crue de novembre 1966, générale mais à dominante aragonaise a donné 4050 m³/s à Castejon, 3135 à Saragosse et seulement 2050 à Tortosa. Dans ces trois exemples, on constate que les débits de pointe ont diminué de moitié de l'amont à l'aval.

En résumé, on peut dire que, de Saragosse, et même de Castejon à Tortosa, les débits n'augmentent de façon considérable que dans le cas de crues pyrénéennes de versant méditerranéen. Si toutes les Pyrénées sont concernées, et à plus forte raison s'il s'agit d'une

crue générale, ces débits n'arrivent généralement pas à doubler entre le confluent de l'Aragon et celui du Sègre, plus généralement, ils sont même stationnaires ou en régression. Enfin l'aplatissement de l'hydrogramme est de règle lorsqu'il s'agit de crues cantabriques.

C H A P I T R E I I I

LA GENESE DES CRUES

INTRODUCTION -

Ainsi au niveau de Tortosa, l'Ebre éprouve de fréquentes crises hydrologiques dont la physionomie dépend des conditions météorologiques ayant donné naissance à la crue, et de l'origine géographique de cette crue, origine qui détermine en particulier les vitesses d'écoulement, et, par le biais des concordances, exerce une influence importante sur les maxima.

Quel est le rôle respectif des différents secteurs du bassin dans le déclenchement des crues sur le collecteur principal, comment les crues prennent-elles naissance sur les bassins élémentaires, comment leur combinaison détermine-t-elle au long des vallées moyennes et inférieures, des situations plus ou moins dangereuses, tel est ici notre propos.

Classification génétique des crues de l'Ebre :

A l'intérieur de notre période d'étude de 25 ans, nous avons relevé à Tortosa, 30 crues de plus de 2000 m³/s pour lesquelles nous

TABEAU XLIII : ORIGINE DES CRUES DE L'EBRE INFERIEUR

Date	Débit (m3/s)	Rang	Type	Saison	Flux per
19.12.III 1951	2971	11	Générale	P	SW _M
7. II. 1952	3410	3	Pyrénéo-Cantabr.	H	W ₄
13.17. IV. 1952	2606	13	Générale	P	S
15.19. X. 1953	2028	31	Générale	A	SW
14.19. I. 1954	2047	27	Cantabrique	H	W ₄
16. II. 1954	2600	14	Cantabrique	H	NW ₅
V. 1954	2002	31	Générale	P	NW + S
28.31.V. 1956	2955	9	Générale	P	S
17.20.III. 1958	2034	28	Pyrénéo-Cantabr.	P	SW
13.28.XII. 1958	2047	27	Pyrénéo-Cantabr.	H	SW
2.7. XII. 1959	2700	12	Cantabrique	H	NW ₅
10.II.XII. 1959	3060	6	Est Pyrénéenne	H	SW
13.18.XII. 1959	3000	8	Cantabrique	H	NW ₅
29. I. 1960	4160	2	Générale	H	SW
21.II. 1960	2413	18	Générale	H	SW
28.III. 1960	2060	26	Est Pyrénéenne	P	SW
8. VI. 1960	2195	20	Est Pyrénéenne	P	S
4. X. 1960	2100	25	Est Pyrénéenne	A	SW
24. X. 1960	3050	7	Est Pyrénéenne	A	SW
1. XI. 1960	3150	5	Générale	A	S
5. I. 1961	4580	1	Pyrénéo-Cantabr.	H	W ₄
18. XI. 1961	2140	24	Cantabrique	A	NW ₅
25. XI. 1961	2520	16	Pyrénéenne	A	SW _G
30. XI. 1961	2950	10	Générale	A	NW +
10. III. 1962	2570	15	Pyrénéenne	P	SW
12. XII. 1962	2151	23	Cantabrique	H	NW
13. XI. 1966	2028	30	Générale	A	S
16. I. 1968	2000	33	Cantabrique	H	NW ₅
18. III. 1969	2174	21	Pyrénéenne	P	W ₄₀
9. IV. 1969	2464	17	Pyrénéenne	P	SE
1. V. 1969	2157	22	Générale	P	SE
6.13.I. 1970	2319	19	Pyrénéo - Cantabr.	H	SW
23. V. 1971	3235	4	-	P	S

crues supérieures à 2000 m3/s pour la période 1948 - 1971, classées par ordre chronologiques.

avons essayé de déterminer l'origine géographique, et l'origine météorologique, c'est à dire le flux perturbé responsable de la pluie ayant fait grossir les rivières. Le tableau ci-joint qui résume ces recherches, ainsi que les deux séries de cartons indiquant les flux perturbés et les rivières en crue (cf. fig. XX à XXIX H.T.) permettent de tirer les conclusions suivantes :

Sur 33 crues de plus de 2000 m³/s à Tortosa :

7 sont d'origine cantabrique. Elles résultent d'une poussée conjuguée de l'Ebre supérieur, du Nela, du Zadorra, de l'Ega et de l'Arga. Bien que ces crues du haut bassin aient une certaine tendance à s'aplatir vers l'aval, les forts volumes d'eau roulés dès le départ autorisent encore au niveau de Tortosa, des débits pouvant atteindre 3000 m³/s.

5 sont d'origine pyrénéo-cantabrique, c'est à dire qu'il s'agit de crues provoquées essentiellement par l'immense réseau de l'Aragon, soutenu par un certain apport cantabrique. Ces crues sont souvent puissantes comme on le verra plus loin. Qu'il nous suffise ici de signaler que la plus forte poussée de l'Ebre pour la période étudiée à cette origine.

9 viennent de la moitié est des Pyrénées par l'intermédiaire du Sègre-Cinca et du Gallego. On a dissocié ici les crues pyrénéennes pour distinguer des phénomènes de versant est^{et} de versant ouest. Ces phénomènes en effet sont très différents, aussi bien par leur genèse que, comme on l'a vu, par les mécanismes, le comportement de l'on-de, la zone affectée.

11 enfin sont provoquées par l'ensemble des rivières.

TABLEAU XLIV : ORIGINE METEOROLOGIQUE DES CRUES DANS LE BASSIN DE
L'EBRE

	Versant Cantabrique	Aragon	Gallego	Cinca	Sègre	Jalon	Guadalupe
NW ₅	8	2					
W ₄	3 (1)	4 (1)					
W ₄₀		2	3				
SW	3 (1)	4	6	8	6	4	2
S	1	3	4	5	5	5	4
SE			1		3	4	6
Orages			1	2	1	2	3

(1) Il s'agit en réalité des fronts froids des perturbations d'W ou SW,
déviés localement en flux de NW₅.

La proportion de ces crues générales serait beaucoup moins importante si, au lieu d'envisager uniquement les phénomènes de premier ordre, on comptabilisait toutes les poussées supérieures à $3 \bar{Q}$ par exemple. On conçoit en effet que, pour que toutes les rivières entrent en jeu, il faut des conditions assez difficiles à réaliser, mais lorsqu'elles le sont, les effets sont spectaculaires.

Une catégorie n'apparaît pas ici, dont il faudra cependant parler : celle des crues ibériques.

SECTION I - LES CRUES CANTABRIQUES -

A - LA CRUE DU 17 AU 22 DECEMBRE 1962 -

Ce mois de décembre 1962, l'Ebre a connu une crue cantabrique typique qui s'est manifestée par de forts débits à Miranda : 1016 m³/s (3ème crue par ordre d'importance depuis 1948) et une forte venue de l'Ega et du Zadorra qui connaissent respectivement avec 361 et 276 m³/s leur 5ème et 3ème crue depuis 25 ans.

- La pluie responsable de la montée de ces rivières s'est étendue en une longue bande le long des reliefs vasco-cantabriques et des Pyrénées atlantiques (cf. fig. L,H.T.). Par les seuils basques, les vents pluvieux de secteur nord ont débordé la barrière montagneuse et libéré sur le versant de l'Ebre, le restant de leur contenu hydrique. C'est au débouché de ces seuils, sur les hauts bassins du Nela, de la rivière de Sta Engracia affluent du Zadorra, et de l'Araquil-Arga, que

se dessinent les zones de pluviosité maximale. Là ont été enregistrés du 11 au 17 décembre, des totaux de 150 à 200 mm. En dehors de cette bande, on relève encore quelques noyaux isolés bien arrosés : au débouché du Somport (117 mm), au col de Bonaigua, au-dessus du val d'Aran (159 mm) et sur le versant nord des Sierras de Cantabria et Codiès. D'une façon générale, les plus fortes valeurs ont été relevées au débouché des cols ouverts vers le Nord et sur les versants nord des reliefs, soulignant ainsi la direction des vents pluvieux. Là, si les totaux de 7 jours soutiennent la comparaison avec les épisodes pluviaux du versant méditerranéen, il n'en est pas de même des maxima journaliers qui, dans l'ensemble restent modestes : 39,8 mm à Vitoria le 17, 36 mm à Alsasua ; les 93 mm d'Urroz de Santesteban représentent ici un maximum.

Une bonne partie de ces précipitations est tombée sous forme de neige, au début au moins de la période de mauvais temps, et jusqu'au 12, 13, 14 ou 15 et même 16, selon l'altitude. A Cabañas de Virtus par exemple, sur les bords de la retenue de l'Ebre, le sol est couvert jusqu'au 15, par 25 cm de neige. Le 15, il pleut. A partir du 16, la pluie est quasi générale, même à Candanchu sur le haut-Aragon où il tombe un mélange de neige et de pluie. La couverture de neige fond alors rapidement et dans bien des secteurs, une grosse partie des précipitations tombées en 7 jours et capitalisées jusqu'alors par la rétention nivale va s'écouler en quelques heures, provoquant ainsi une rapide montée des eaux.

- Une situation typique d'hiver (cf. fig. XX,H.T.) est à l'origine de ces événements. L'anticyclone des Açores oscille autour de sa position moyenne hivernale et s'étire vers la Meseta espagnole.

La dépression d'Islande est légèrement décalée vers le Sud du Groenland. Toute l'Europe occidentale et centrale voire orientale est sous l'influence de centres dépressionnaires qui circulent de la mer du Nord à la mer Noire. Les perturbations dirigées par les centres d'action atlantiques, sont rabattues vers le Sud-Est après avoir contourné par le Nord l'anticyclone des Açores, et abordent le golfe de Gascogne avec une direction NW-SE. Ainsi, le 16 décembre, un front froid étiré WSW-ENE atteint les reliefs cantabriques, accompagné de vents de secteur nord. Ainsi se trouvent réalisées les conditions qui déterminent des pluies importantes sur le haut bassin, par suite du double effet orographique et frontal.

- Le déroulement de la crue :

Dans ces conditions, tandis que les rivières étaient partout très basses au début du mois, du fait d'une arrière saison relativement sèche et du caractère neigeux des premières précipitations, brusquement le 16 décembre, la crue se déclenche à la suite du paroxysme pluvial qui devait entraîner une partie de la neige tombée les jours précédents. Le 17 à midi, l'Ebre cotait 5,28 m à Miranda, soit 1016 m³/s apportés surtout par le Nela qui éprouvait alors une forte poussée. A Trespaderne, l'échelle est couverte, tandis qu'à l'amont du bassin, du fait de la position d'abri et de l'amortissement par le bassin de Reinos, l'Ebre supérieur réagit à peine. A Castejon, les débits ont plus que doublé grâce à l'apport des rios Bayas, Zadorra (361 m³/s) et Ega (276 m³/s). Le maximum du 18 au soir s'élève en effet à 2522 m³/s. Mais il a été précédé 24 heures plus tôt par un premier maximum légèrement inférieur, dû au passage des flots conjugués de l'Aragon (543 m³/s)

et de l'Ega. (497 m³/s) (1). Seul le décalage entre ces deux flots a permis d'éviter à Castejon une catastrophe de grande envergure. Notons que les rivières du versant ibérique ont peu participé à ces maxima. Quel a été le sort de cette crue entre Castejon et la mer, c'est ce que nous apprennent les hydrogrammes de Saragosse et Tortosa. On constate d'abord, que, dès Saragosse, les deux maxima tendent à se fondre en une seule grosse intumescence accidentée seulement à l'avant d'un palier. Au sommet de la vague, le fleuve roulait 2390 m³/s, ce qui représente une perte de débit de plus de 100 m³/s depuis le confluent de l'Aragon, perte due à l'étalement de la crue, et aux différentes causes de déficit. A Tortosa, ce déficit s'est accru puisque le maximum, qui passe le 22, n'est plus que de 2151 m³/s. Les rivières pyrénéennes à l'Est de l'Aragon n'ont donc pas soutenu la crue sur son long parcours de Castejon à la mer ; avec 18 m³/s le Cinca atteint même son minimum mensuel, tandis que sur l'autre rive, Jalon et Guadalupe restent à des niveaux très bas.

Ainsi à partir de la confluence de l'Aragon aucun volume important n'est venu soutenir une crue dont l'origine s'est finalement cantonnée aux affluents de rive gauche, du Nela à l'Arga inclus. L'Aragon n'ayant participé que par l'intermédiaire des affluents les plus occidentaux : Irati et ses tributaires. C'est pourquoi le déficit P-P', faible au départ du fait de la saison et du rôle de la neige n'a cessé d'augmenter vers l'aval.

Ce sont des situations similaires qui ont provoqué les trois principales crues cantabriques de ces derniers 25 ans, celles du 13 décembre 1959, qui a donné 1316 m³/s, celle du 13 novembre 1961 (1178 m³/s)

et celle du 2 décembre 1969 (1048 m3/s). Ces trois crues étant incluses dans des épisodes complexes, nous les étudierons plus en détail dans le cadre d'un paragraphe sur les crues généralisées. Signalons toutefois dès à présent que toutes trois résultent de perturbations venues du Nord-Ouest dont le point double est passé par l'isthme pyrénéen en direction de la Méditerranée.

Chaque fois, ces perturbations ont circulé dans le lit d'une vallée planétaire ponctuée d'une goutte froide d'altitude, et se terminant, lors du paroxysme pluvial, au-dessus de la péninsule.

B - CARACTERES COMMUNS AUX CRUES CANTABRIQUES -

1°/ Extension : Les crues cantabriques sont des phénomènes de saison froide qui prennent naissance dans un secteur bien défini du haut bassin entre Nela et Arga. L'Ebre supérieur en effet, de même que le Hija, sous le vent de Peña Labra, sont généralement peu affectés par l'épisode pluvieux responsable. De plus, pour les crues qui se déclanchent à la fin de l'automne ou au début de l'hiver, la retenue de Reñosa jouant à fond son rôle modérateur, absorbe totalement les ondes qui pourraient se dessiner. Par contre, selon la situation météorologique et l'orientation des vents, la pluie peut s'étendre quelque peu au-delà de son aire moyenne, vers l'Est ou le Sud. Ainsi l'Aragon, par l'intermédiaire de ses affluents les plus occidentaux (Irati surtout) apporte fréquemment quelque renfort. Mais au-delà de l'Irati, la pluie perd généralement beaucoup de son intensité et les autres affluents de même que l'Aragon supérieur réagissent faiblement ou même pas du

tout. Le versant ibérique est le plus souvent protégé par les hautes pressions qui règnent en hiver au centre de la péninsule. Pourtant dans certains cas comme en décembre 1959, les petites rivières venues du noeud orographique de la Demanda peuvent apporter leur modeste contribution.

2°/ Conditions météorologiques :

Sur les dix crues typiquement cantabriques que nous avons analysées, neuf se sont produites par flux perturbé de Nord-Ouest passant par l'isthme pyrénéen. Ces flux circulent dans un couloir dépressionnaire étiré entre les Iles Britanniques et la Méditerranée occidentale. Parfois, deux dépressions s'individualisent aux deux extrémités de ce couloir de sorte que les perturbations océaniques qui ont cheminé d'Ouest en Est sur l'Atlantique le long du flanc nord de l'anticyclone des Açores sont rabattues vers le Sud-Est par l'action conjuguée de l'extrémité est de cet anticyclone et de la dépression britannique, puis aspirées, par la dépression méditerranéenne. A noter que l'anticyclone des Açores est parfois remplacé dans ce rôle par un anticyclone nord atlantique étiré Nord-Sud, dont l'action semble plus vigoureuse encore. Quant au couloir dépressionnaire, il est généralement surmonté par une vallée planétaire détachant parfois une goutte froide au-dessus de la Méditerranée occidentale ou au fond du golf de Gascogne (novembre 61-décembre 1959). Une exception à ce schéma, mais en apparence seulement. Lors de la crue cantabrique du 14 janvier 1964 les BQE montrent une situation d'Ouest typique, caractérisée par l'étirement des centres

d'action dans le sens zonal, et un cheminement Ouest-Est des perturbations. Mais le front froid de ces perturbations est rabattu vers le Sud-Est par l'extrémité de l'anticyclone des Açores étiré jusqu'à couvrir le quart sud-est de la péninsule. Localement, les perturbations d'Ouest se comportent donc comme des flux de Nord-Ouest et provoquent les mêmes effets.

Dans ces conditions, les vents de secteur NW à WNW, humides et tièdes à cause de leur origine pas trop septentrionale, montent à l'assaut de la Cordillère Cantabrique et des Pyrénées atlantiques. Les petites rivières du versant nord entrent alors en crue. Mais par les cols basques profondément creusés, les masses d'air océanique déferlent sur le haut bassin de l'Ebre, où elles déversent leur contenu hydrique dans trois secteurs privilégiés : le Nord-Est du réservoir de Reinosa, le haut Zadorra et le bassin de Vitoria, enfin le haut Arga, c'est à dire les secteurs situés au débouché des cols.

Mais si les crues typiquement et exclusivement cantabriques relèvent pratiquement toutes de flux de Nord-Ouest, les rivières de ce secteur peuvent se montrer sensibles à d'autres flux perturbés. Dans ce cas, les poussées sont généralement moins violentes, et surtout la crue n'est plus localisée mais atteint au contraire d'autres secteurs, voire la totalité du bassin de l'Ebre. Ainsi en janvier 1960, dans des conditions que l'on précisera plus loin, l'Ebre supérieur a réagi en même temps que les affluents pyrénéens à un puissant courant perturbé de Sud-Ouest. En novembre 1966, la perturbation venue du Sud qui a provoqué la crue maximale de l'Aragon a aussi atteint le bassin supérieur.

Les volumes liquides précipités dans ces conditions sont rarement comparables à ceux apportés sur les Pyrénées ou la région méditerranéenne par les flux d'automne de Sud-Ouest ou de Sud-Est. Ceci est vrai surtout pour les intensités journalières qui sont dans l'ensemble bien inférieures. Par contre les totaux de 8 à 10 jours sont eux, beaucoup plus près des paroxysmes pyrénéens ou méditerranéens.

Mais il est un facteur qui vient presque toujours, étant donné la date de ces phénomènes, aggraver la situation : la neige dont le rôle est souvent considérable. En effet, les crues cantabriques sont des phénomènes d'hiver, survenant le plus souvent alors que les reliefs supérieurs à 1000 m sont recouvert d'une couche de neige plus ou moins importante. Or les flux de Nord-Ouest à l'origine de ces crues entraînent sur la péninsule des masses d'air océaniques tièdes. Sous l'effet de l'élévation de température et de la pluie, la couverture neigeuse est rapidement entraînée, augmentant dans des proportions variables mais toujours importantes, l'efficacité de la pluie.

3°/ Caractères hydrologiques :

La crue qui se forme alors débute pratiquement à la confluence du Nela et grossit progressivement jusqu'à l'Aragon où elle reçoit son dernier renfort. En effet, l'Arga appartient encore au domaine des pluies cantabriques, et il est bien rare que l'Aragon, immédiatement à l'Est ne reçoive pas quelques éclaboussures. Mais la situation de ces rivières qui rejoignent le collecteur très en aval, fait que leurs crues passent toujours à Castejon 24 à 36 heures avant celles de l'Ebre supérieur. Leur rôle consiste donc à gonfler le volume global et éten-

dre la crue dans le temps, sans influencer considérablement sur le maximum. Ainsi s'expliquent les changements qui surviennent dans la forme de l'onde entre Miranda et Castejon. En amont, la crue est pointue, son évolution rapide, le débit maximum relativement élevé, mais le volume global faible. A Castejon, ce volume est multiplié par 2 à 2 1/2. A partir de Castejon, la crue s'aplatit progressivement vers l'aval.

SECTION II - LES CRUES PYRENEENNES -

Etant donné la largeur de la chaîne et son contact avec deux domaines climatiques différents : atlantique à l'Ouest, méditerranéen à l'Est, on conçoit que les Pyrénées puissent être le siège de phénomènes météorologiques et hydrologiques d'origine et d'extension différentes. En fonction de ces différences climatiques, deux régions hydrologiques se distinguent nettement sur le plan des crues comme sur celui du régime en général : l'une à l'Ouest comprend l'ensemble du bassin de l'Aragon et réagit d'ailleurs le plus souvent en même temps que le secteur cantabrique, l'autre à l'Est s'étend du Gallego au Sègre. Mais il arrive que l'ensemble du versant espagnol des Pyrénées soit atteint par une même pluie très extensive. Alors, toutes les rivières pyrénéennes participent à la crue. On est ainsi amené à distinguer trois types de crues pyrénéennes : Pyrénéo - cantabriques, de versant méditerranéen, et crues généralisées. Dans ce dernier cas, le versant ibérique et le haut bassin sont généralement aussi concernés. Nous réserverons donc un paragraphe spécial à ce type de crue.

A - LES CRUES PYRENEO-CANTABRIQUES -

1° / La crue de février 1952 :

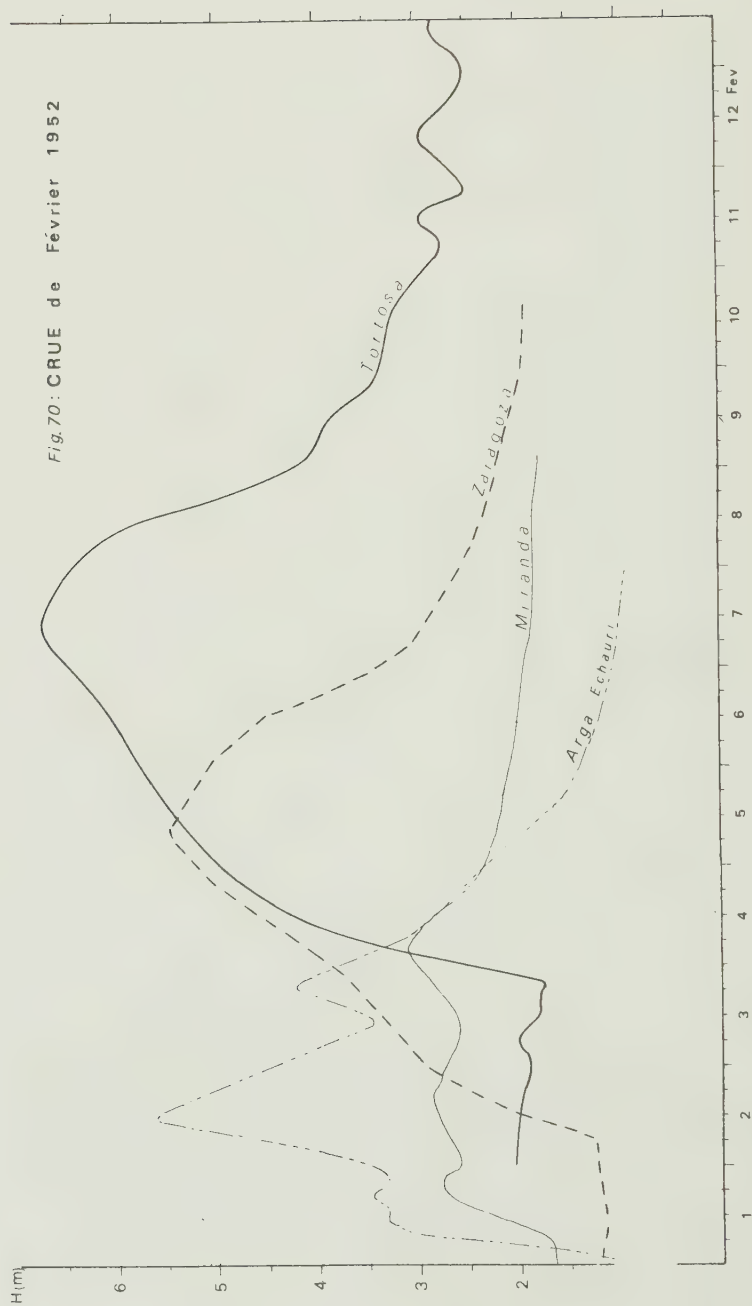
En ce mois de février 1952, alors que le bassin de l'Ebre vient de connaître depuis le début des années 40 une série de sécheresses qui ont culminé lors de la grande pénurie de 1947-48, brusquement se déclenche un phénomène presque oublié : la crue, la crue catastrophique capable de dévaster totalement les riches cultures de toute la vallée moyenne, et même d'endommager les plantureuses huertas de la vallée inférieure. De fortes pluies affectant la partie occidentale des Pyrénées, du haut Gallego au Zadorra ont en effet gonflé les rivières du réseau de l'Aragon ainsi que l'Ega, le Zadorra, et dans une moindre mesure le Gallego et le haut-Ebre, provoquant ainsi à Saragosse la deuxième crue des 25 dernières années et sans doute la troisième du siècle après celles d'octobre 1937 et janvier 1961.

La situation météorologique responsable de la catastrophe est tout à fait classique (cf. fig. XVI H.T.) : l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande occupent leur position hivernale moyenne, de même que l'anticyclone de Russie. Entre les deux centres de hautes pressions, un large couloir dépressionnaire se creuse en demi-cercle de la pointe du Groenland au golfe du Lion. Une famille de perturbations traverse l'Atlantique, contourne l'anticyclone des Açores, par le Nord et se trouve ensuite attirée par la dépression méditerranéenne. Ces dépressions adoptent alors une trajectoire WNW-ESE, et gagnent la Méditerranée, de préférence par l'isthme pyrénéen. Une de leurs caractéristiques réside dans l'existence d'un secteur chaud très largement

ouvert, de sorte que les fronts ont tendance à s'étirer parallèlement à la vallée de l'Ebre. Ils vont ainsi défiler pendant deux jours entiers 1 et 2 février, sur le versant sud des Pyrénées, accompagnés de vents d'Ouest tièdes et humides et d'une pluie persistante.

Pourtant, les quantités totales de pluie (cf. fig. XXX H.T.) tombées pendant les quatre jours de mauvais temps responsables de la crue, quoique élevées, n'ont pas été extraordinaires, et ceci résulte des faibles contrastes de température entre les masses d'air. Seules quelques stations de haute montagne, du fait de l'effet orographique ont enregistré des totaux importants : 225 mm à Panticosa, 160 mm à Candanchu, 214 mm à Canfranc, mais ces précipitations, tombées sous forme de neige restèrent sans effet hydrologique tout comme restèrent sans effet, à cause de leur localisation en altitude, les précipitations maximales de cet épisode de mauvais temps. L'isoligne 150 mm qui les limite se tient très haut sur les hautes vallées de l'Aragon et du Gallego, de sorte que ces rivières ne purent participer à la crue, du fait de la rétention nivale. A Jaca, à 800 m d'altitude, le débit passait seulement de 5 à 36 m³/s. Par contre, la pluie tombée un peu plus bas, devait s'avérer beaucoup plus efficace, d'autant que le mois de janvier, très pluvieux - 20 jours de pluie sur les bords du barrage d'Urrunaga au Nord de Vitoria ! - avait refait les nappes et saturé les sols. De plus, sur tous les reliefs de moyenne altitude, la neige tombée les 31 janvier et 1er février a brusquement fondu lorsque la région est passée dans le secteur chaud de la perturbation dans l'après midi du 1er. La pluie tiède a alors entraîné la couverture neigeuse, et la masse liquide a ruisselé sur le sol saturé. C'est pourquoi malgré un total de précipitations assez peu spectaculaire, l'Aragon a éprouvé

Fig. 70: CRUE de Février 1952



une très forte crue en provenance essentiellement des rivières de moyenne montagne du versant océanique.

Ainsi, la limite de la crue vers l'Est et le Nord peut-être tracée très aisément, c'est celle de la rétention nivale. Elle passe entre Esca et Veral, coupe cette rivière et le Subordan sur leur cours inférieur et l'Aragon en aval de Jaca. A l'intérieur de cette limite, les rivières les plus touchées furent l'Irati (952 m³/s) et l'Arga supérieur (908 m³/s à la confluence de l'Araquil). Cette crue s'est caractérisée sur les artères élémentaires par la présence de trois pointes, les 1, 2 et 3 février, qui se sont succédées à Castejon de la façon suivante : le 2, passage de la 1ère crue du réseau Aragon-Arga, le 3, la crue principale débouche dans l'Ebre où elle est rejointe par le premier flot du cours supérieur, provoquant ainsi, à Castejon, un gros maximum de 3140 m³/s. En arrière de ce maximum vont s'écouler successivement la 3ème pointe de l'Aragon - Arga, associée à la 2ème de l'Ebre, puis la 3ème poussée d'amont. Ainsi s'est constituée au débouché de l'Aragon, une onde simple, à une seule pointe mais très fort volume global, dû à l'ampleur de la vague et à l'importance du maximum. A Saragosse, 937, 8 hm³ d'eau sont passés sous le Pont de Pierre en 6 jours de crue. Ce volume tout comme la pointe de crue se sont encore accrus légèrement à Tortosa où l'on enregistra le 7, 3490 m³/s et un total de 1125 hm³ pour l'ensemble de la crue. Compte-tenu du débit de base à déduire de ce total, on peut évaluer à 10 mm la lame d'eau évacuée par la crue, et le calcul du coefficient d'écoulement a donné le chiffre énorme de 80 % ! La faiblesse du déficit s'explique par la date hivernale de la crue, date qui suppose une faible évaporation, un fort ruissellement sur les sols saturés par les pluies de décembre (mois du

maximum pluviométrique dans toute la partie du bassin concernée) et la fusion d'une partie du manteau neigeux, cette fusion a en partie oblitéré un déficit malgré tout inévitable.

2° / La crue de décembre 1960 - janvier 1961 :

Cette année 1960, une des plus humides du siècle et des plus riches en crues devait se terminer de façon catastrophique par la plus forte crise éprouvée par l'Ebre depuis 1937.

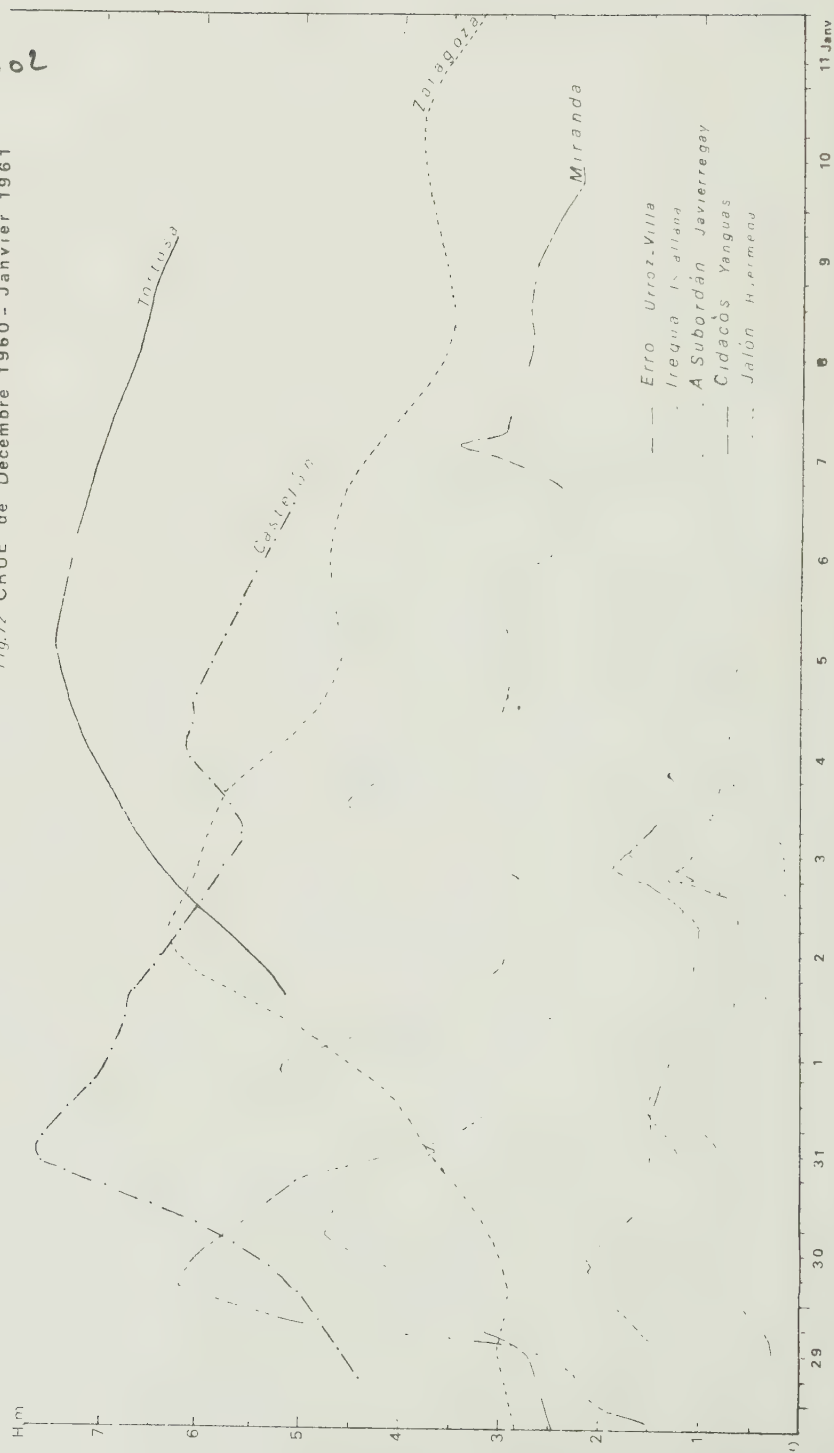
La situation météorologique responsable de la crue est classique (cf. fig. XXVI H.T.) ; un flux d'Ouest, qui fonctionnait depuis quelques jours à la latitude des Iles Britanniques, s'est trouvé bloqué par une expansion vers l'Europe occidentale de l'anticyclone continental. Tandis que le point double des perturbations contournait par le Nord le barrage anticyclonique, la partie sud des fronts, évoluant en courant dérivé de NW₅, balayait la péninsule du NW au SE. Les bouffées d'air océanique qui ont pénétré successivement sur le haut bassin de l'Ebre à l'arrière de ces fronts, ont provoqué des pluies peu intenses mais prolongées et d'une grande efficacité hydrologique, vu l'état de saturation des sols.

Cette année 1960 déjà exceptionnelle sur le plan de la pluviométrie, se terminait en effet par un mois de décembre remarquablement arrosé. Survenant dans ce contexte, les derniers épisodes pluvieux de l'année ont provoqué le gonflement de tous les affluents d'amont jusqu'à l'Aragon pour la rive gauche, au Cidacos pour la rive droite. Les rivières est-pyrénéennes, touchées seulement tout à l'amont de leur bassin, et par conséquent par des précipitations surtout solides, ont à peine par-

Fig. 71: ISANOMALES DE PLUIE DE DECEMBRE 1960



Fig. 72 CRUE de Decembre 1960 - Janvier 1961



ticipé à ces événements. C'est donc entre le premier noeud de convergence, celui du Oca-Nela, et le confluent de l'Aragon-Arga, que s'est formée la crue. Une crue énorme de près de 5000 m³/s et dont on peut se demander quelle est l'origine, si l'on se réfère aux données des annuaires. Ceux-ci en effet avancent les chiffres très modestes de 760 et 523 m³/s pour les crues élémentaires de l'Aragon et de l'Arga, et 1016 m³/s pour celle de l'Ebre supérieur à Miranda. Dans ces conditions, seules des concordances très étroites permettraient d'atteindre le chiffre signalé plus haut. Or l'étude minutieuse des limnigrammes montre que l'onde de l'Ebre supérieur est passée à Castejon avec un retard de 12 h environ sur celle de l'Aragon, et que l'énorme maximum de 4950 m³/s qui a déferlé sur cette localité le 31 décembre à midi doit être décomposé de la façon suivante : 1000 à 1500 m³/s en provenance de Mendavia sur l'Ebre, 350 m³/s fournis par l'Ega et une cinquantaine par le Cidacos. Au total, 1500 à 2000 m³/s environ. Le reste, soit 3000 à 3400 m³/s doit être réparti entre l'Aragon et l'Arga. Une des caractéristiques de cette crue consiste dans la présence, sur les artères élémentaires et encore au niveau de Miranda, de trois poussées, respectivement le 30 décembre, le 1 et le 3 janvier, correspondant à trois épisodes pluvieux successifs. Par le jeu des interférences, ces trois pointes ont donné une seule et énorme intumescence au niveau de Castejon où s'est constituée véritablement la crue, une crue de 8 jours, accidentée à l'arrière, le 4, d'une légère poussée due au dernier épisode pluvieux. Cette énorme vague de près de 5000 m³/s a déferlé sur la vallée moyenne, causant d'énormes dommages non seulement aux cultures mais aux sols eux-mêmes qui ont été tantôt emportés, tantôt stérilisés par des dépôts plus ou moins épais de sables et graviers.

Du fait de l'inondation, le maximum qui passait à Saragosse le 2 janvier à 17 heures, n'était plus que de 4130 m³/s ; mais soutenue en aval par une légère poussée du Sàgre-Cinca que la pluie du 4 avait légèrement atteint à l'amont, la crue parvenait à maintenir son volume jusqu'à la mer et même à l'accroître légèrement. Le maximum enregistré le 5 à Tortosa atteignait en effet 4580 m³/s

3° / Caractères communs aux crues pyrénéo-cantabriques :

a) Extension et conditions météorologiques :

C'est en hiver, et le plus souvent de décembre à février, que les crues de l'Aragon sont les plus fréquentes et les plus dangereuses. Mais elles peuvent aussi se déclencher à la fin de l'automne ou au début du printemps. Le voisinage avec le secteur cantabrique fait qu'elles sont toujours plus ou moins soutenues par l'Ebre supérieur, de même que les crues de l'Ebre supérieur ne laissent jamais indifférent le réseau de l'Aragon. Mais en examinant le tableau des flux perturbés générateurs de crue et la liste des 15 premières crues de ces deux collecteurs, on constate que les grosses crises coïncident rarement, et que chaque secteur garde son individualité propre. En ce qui concerne l'Aragon, les situations génératrices de tels phénomènes sont assez variées, ce qui traduit bien la position de ce bassin à une certaine virulence, surtout dans la partie ouest du bassin, sur le réseau de l'Arga. Les responsables de la pluie sont alors les vents atlantiques de Nord-Ouest qui suivent le passage du front froid. Signalons que les

flux d'Ouest, en particulier ceux qui voyagent selon la voie n°4 sont capables de provoquer des précipitations intenses dans le bassin de l'Ebre, à condition que le front froid soit dévié par la topographie isobarique locale en flux de NW. Il en fut ainsi en février 1951, janvier 1961 et décembre 1965. Dans tous les cas, la carte d'isohyètes fait ressortir une zone de fortes précipitations étirée en une bande plus ou moins étroite jusqu'au haut Gallego. Au-delà d'un hiatus concernant essentiellement le haut bassin du Cinca, le Val d'Aran et le col de Bonaigua sont à nouveau bien arrosés, ainsi que, d'une façon générale, tous les reliefs exposés aux vents de N ou NW. Cette répartition n'est pas fondamentalement différente de celle des pluies canabriques. Simplement, les trois noyaux de précipitations maximales repérés dans le cas précédent se fondent ici dans la nouvelle aire de pluie, et les maxima tendent à se reporter au niveau du haut Aragon-haut Gallego.

A côté des flux d'W à NW, ceux du secteur S commencent à prendre une place importante. Près de la moitié des crues de l'Aragon ont une telle origine. Signalons que, dans ce cas, l'Aragon participe à des phénomènes plus étendus qui atteignent le Gallego (décembre 1963) ou l'ensemble de la barrière pyrénéenne (novembre 1966), voire la totalité du bassin (mai 1956). Les responsables de la pluie sont alors successivement les vents de SE qui soufflent à l'intérieur du secteur chaud de la perturbation, puis les vents de provenance atlantique soufflant en arrière du front froid.

Lorsque celui-ci est bloqué par les Pyrénées, les pluies persistent dangereusement. Sur la carte d'isohyètes, les maxima pluviométriques s'étirent en une longue bande du haut Irati à la haute Pallaresa. A l'intérieur du bassin de l'Aragon, c'est l'Irati qui est touché, beau-

coup plus que l'Arga. Les intensités pluviométriques journalières sont généralement plus fortes que dans le cas de flux de NW (cf. les records de 1966).

b) Caractères hydrologiques :

Extension : les crues de ce type se forment les plus souvent sur l'Iratí et le Salazar. Le haut Aragon, en amont de Jaca participe généralement assez peu à ces événements car il s'agit de phénomènes d'hiver, et sur les hauts reliefs des Pyrénées centrales qui commencent ici, la rétention nivale limite considérablement l'écoulement. Plus précisément on constate le plus souvent que la limite de la zone affectée passe entre Esca et Veral englobe parfois le Subordan inférieur, mais laisse à l'extérieur les secteurs amont du Subordan et de l'Aragon.

Puissance :

Ces crues sont souvent puissantes, tout d'abord par leur maximum qui peut atteindre au niveau du confluent avec l'Ebre 1000, 2000 m³/s et même bien davantage comme en décembre 1960. A vrai dire, pour un bassin d'une telle ampleur, il n'y a là rien d'extraordinaire, et on devrait avoir des chiffres bien plus élevés si le bassin était soumis à un climat homogène. Or on l'a vu, l'Arga est plus cantabrique qu'aragonais et participe plus volontiers aux crues de l'Ebre supérieur qu'à celles de son collecteur. Et il est heureux qu'il en soit ainsi ! L'Arga draine en effet un vaste bassin à l'intérieur duquel les temps de concentration doivent être assez proches de ceux qui caractérisent le bassin de l'Aragon. Dans le cas de pluies synchrones, on pourrait avoir des concordances catastrophiques, phénomènes qui, d'ailleurs, ne sont pas exclus. Malheureusement, l'absence de pluviomètres enregistreurs nous interdit de pousser plus avant cette étude.

Puissantes, ces crues le sont encore, et surtout par leur volume . L'hydrogramme de Caparroso, toujours très ouvert, s'oppose aux tracés très pointus des crues de Miranda et évoque un volume liquide global beaucoup plus important.

L'influence des crues de l'Aragon sur l'hydrologie du cours moyen est capitale d'autant que les poussées de l'Aragon sont toujours plus ou moins soutenues par l'Ebre supérieur. Il s'ensuit très souvent des situations catastrophiques tout au long de la vallée moyenne de l'Ebre. De toute façon les plus fortes crues de l'Ebre moyen à Saragosse ont pour origine les colères de l'Aragon.

B - LES CRUES PYRENEENNES DU VERSANT MEDITERRANEEN -

1°/ La crue du 6 - 8 juin 1960 :

En éprouvant sa crue maximale le 6 juin 1960, le Gallego ouvrait la série des records battus au cours de cette année mémorable. Il était accompagné dans ces excès par l'Aragon supérieur qui lui aussi atteignait à Jaca un de ses plus hauts niveaux et par le Cinca qui, plus modeste, toutes proportions gardées, n'enregistrait à Fraga qu'une crue de 11° rang avec 1170 m3/s.

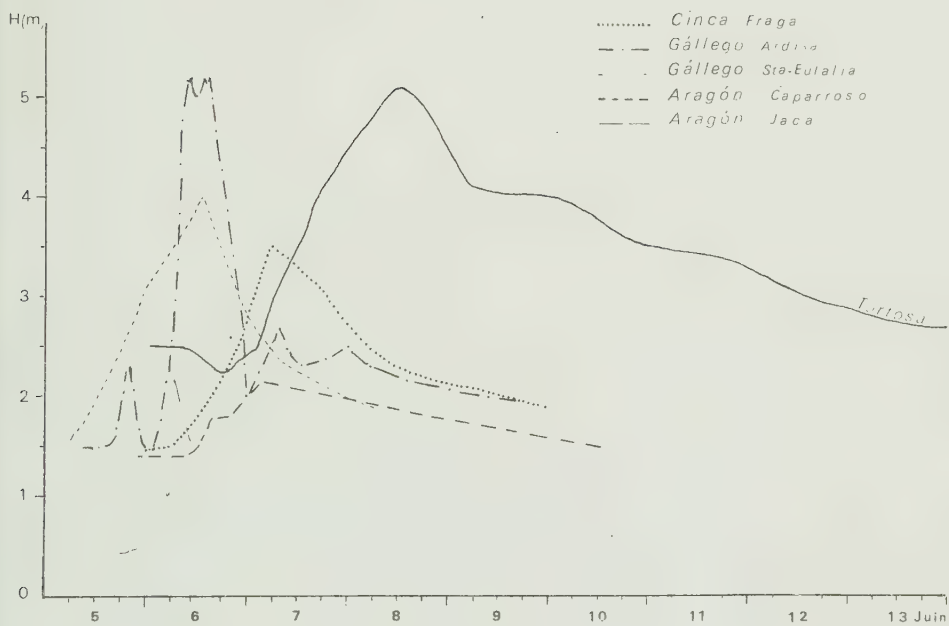
Au sud de l'Ebre, le Jalon participait aussi quelque peu à ces événements tandis qu'à l'Est et à l'Ouest, Sègre et Aragon inférieur réagissaient faiblement. Cette disposition méridienne de la zone affectée par la crue suggère la direction des flux perturbés et des vents plus ou moins responsables.

En effet, depuis plusieurs jours, on assiste à une remontée massive d'air tropical chaud et instable sur l'Europe occidentale. Cette remontée se fait dans le talweg qui s'étire de la Méditerranée à l'Islande, tandis qu'à l'Ouest, sur le proche atlantique, un flux d'air froid, postérieur au passage d'une perturbation, se dirige vers le SE en direction de la Méditerranée. Le 15 février au soir, deux fronts barrent du S au N le bassin moyen de l'Ebre. Le premier de ces fronts donne un ciel de corps pluvieux précédé d'un temps variable avec de nombreux nuages d'instabilité générateur d'orages à l'avant du front et sur les reliefs. Les vents sont de secteurs SE. Dans la nuit, ce front va se mettre à onduler sous l'influence du courant de SE et évoluer au-dessus des Pyrénées centrales en front chaud. C'est donc un front chaud qui va balayer dans la journée du 6 et la nuit du 6 au 7 cette partie de la chaîne.

La carte de la pluie reflète fidèlement cette situation (cf. fig. XLI H.T.). L'aire de mauvais temps est nettement circonscrite et suggère la direction des vents pluvieux. Elle s'étend entre le Cinca et une ligne allant du Rio Arba à l'Aragon Subordan. Deux noyaux de pluie plus intense, les véritables responsables de la crue s'individualisent l'un, du coude de l'Aragon au niveau de Jaca, au coude du Gallego au barrage de la Peña ; l'autre du Cinca supérieur au río Ara. Un troisième noyau se dessine sur la vallée moyenne du Cinca. Enfin, face aux vents pluvieux, les reliefs côtiers, bien que hors de la perturbation ont condensé une petite partie de l'humidité atmosphérique. Trois secteurs se sont trouvés dans ces circonstances particulièrement abrités. La haute vallée du Sègre, le bassin moyen de l'Aragon-Arga et la gouttière de l'Ebre entre Logroño et le confluent du Jalon.

-609-

Fig.73 . CRUE de Juin 1960



Le plus remarquable dans cette pluie a été son intensité : 133 mm le 5 au S. de Jaca, 109 le 6 au N. de Jaca, 80 à 90 mm en de nombreux autres points. La carte d'isohyètes de la période du 3 au 7 juin donne une bonne idée de la concentration de la pluie, lorsqu'on sait que les 3, 4 et 7, ont été fort peu arrosés. A quelques mm près, c'est donc la pluie des 5 et 6 juin qui se trouve représentée.

La puissance de la crue est due surtout ici à la concentration de l'averse en un temps très réduit. Mais d'autres facteurs ont pu jouer un rôle non négligeable : l'humectation du sol par la courte mais violente ondée qui, le 31, avait déjà affecté les mêmes régions, la neige, qui en ce début de juin recouvre encore les pentes du mont Perdu, au-dessus du Cinca, et celles que Ballaitous et Vignemale égouttent respectivement dans le Gallego et le río Ara. La fonte d'une partie de cette neige, entraînée par les averses du 5 et 6, a certainement contribué à grossir le volume liquide.

Or malgré l'importance des débits sur les affluents, 1070 m³/s pour le Gallego, 1170 m³/s pour le Cinca, le maximum qui passe à Tortosa le 8 n'est que de 2195 m³/s. La raison, nous la connaissons déjà : la non concordance entre les flots du Cinca, du Gallego et surtout de l'Aragon qui arrive presque toujours avec un jour et demi de retard au niveau de Tortosa. De plus, dans le cas de crues méditerranéennes types comme celle-ci, seuls sont atteints dans le réseau de l'Aragon l'amont de cette rivière et l'Aragon Subordan. Dans ces conditions non seulement la crue prend du retard à cause du long chemin qu'elle doit parcourir mais encore, n'étant pas soutenue à l'aval, elle s'aplatit peu à peu.

2°/ Les crues d'octobre 1960 :

Octobre fut, cette année-là, un mois extraordinairement pluvieux dans toute l'Espagne où de nombreuses stations reçurent le plus fort total enregistré depuis au moins un siècle. Ce fut le cas pour La Corogne, Valladolid, Madrid, Seville. Le bassin de l'Ebre ne fut point épargné. Déjà des pluies abondantes tombées durant le mois de septembre sur les reliefs cantabriques, les Pyrénées aragonaises et orientales, avaient reconstitué les nappes et amené les sols à un état proche de la saturation. Les précipitations abondantes qui affectèrent alors les Pyrénées du Sègre au Cinca, puis l'ensemble des Pyrénées centrales, enfin la totalité du bassin, provoquèrent à Tortosa trois énormes crues qui comptent parmi les plus importantes du dernier quart de siècle. On soulignera l'importance de la dernière de ces crues qui devait gonfler les débits à 3150 m³/s.

La situation météorologique (cf. fig. XXII H.T.) se caractérise par la présence à partir du 29 septembre, d'une dépression très étendue au large des Iles Britanniques qui attire vers l'Europe un flux perturbé de SW. Le 2 octobre cette dépression est régénérée par une injection d'air froid polaire maritime, sur sa face W et S. Le flux d'air chaud de secteur S, aspiré par la dépression va se trouver renforcé et va envahir la France et l'E de la Péninsule Ibérique. Dans ces conditions, la perturbation qui traverse lentement l'Espagne dans la journée du 2 et la matinée du 3 est particulièrement active. Elle est accompagnée de vents de secteur S à SE qui apportent des précipitations intenses et générales sur tout le bassin de l'Ebre, mais plus particulièrement sur les Pyrénées centrales et orientales où deux secteurs reçoivent

plus de 200 et parfois plus de 300 mm : le haut Aragon et une bande allant du haut Cinca à la haute Ribagorzana, et au Flamisell. On assiste alors à une première crue de l'Ebre d'origine essentiellement pyrénéenne, provoquée par le réseau Sègre-Cinca. Le 7 la situation s'améliore mais le temps reste variable et l'on assiste même, le 13, à un épisode pluvieux causé par le passage de fronts traversant le pays du NW au SE.

Du 19 au 27 octobre, se rétablit en Europe Occidentale une situation assez semblable à celle du début du mois avec flux perturbé de SW dirigé par une dépression au large du golfe de Gascogne. La perturbation active qui traverse l'Espagne du SW au NE le 22, entraîne des chutes de pluie considérables dans le même secteur que précédemment. On constate toutefois une contraction de la zone arrosée et une légère translation vers l'E de la zone de précipitations maximales qui atteint cette fois principalement, le bassin du Cinca, Esera, Pallaresa.

Une deuxième crue assez semblable à la première se déclenche alors dans la journée du 22.

A partir du 26, la trajectoire des perturbations devenant plus méridionale (c'est la voie de Gibraltar qui est alors utilisée) le bassin de l'Ebre connaît quelques belles éclaircies. Mais le 28, tandis qu'une perturbation venue par le détroit de Gibraltar remonte le long de la côte E de l'Espagne, une dépression se creuse sur la péninsule au point double de la perturbation. Il s'ensuit une situation complexe, avec vents de secteur E à SE sur les Pyrénées centrales et orientales, et crue méditerranéenne des rivières de ce secteur, tandis que le versant atlantique est envahi par des masses d'air humides en provenance du NW attirées par la dépression centrée sur l'isthme pyréné-

Fig. 74 : CRUE du 3-8 Octobre 1960

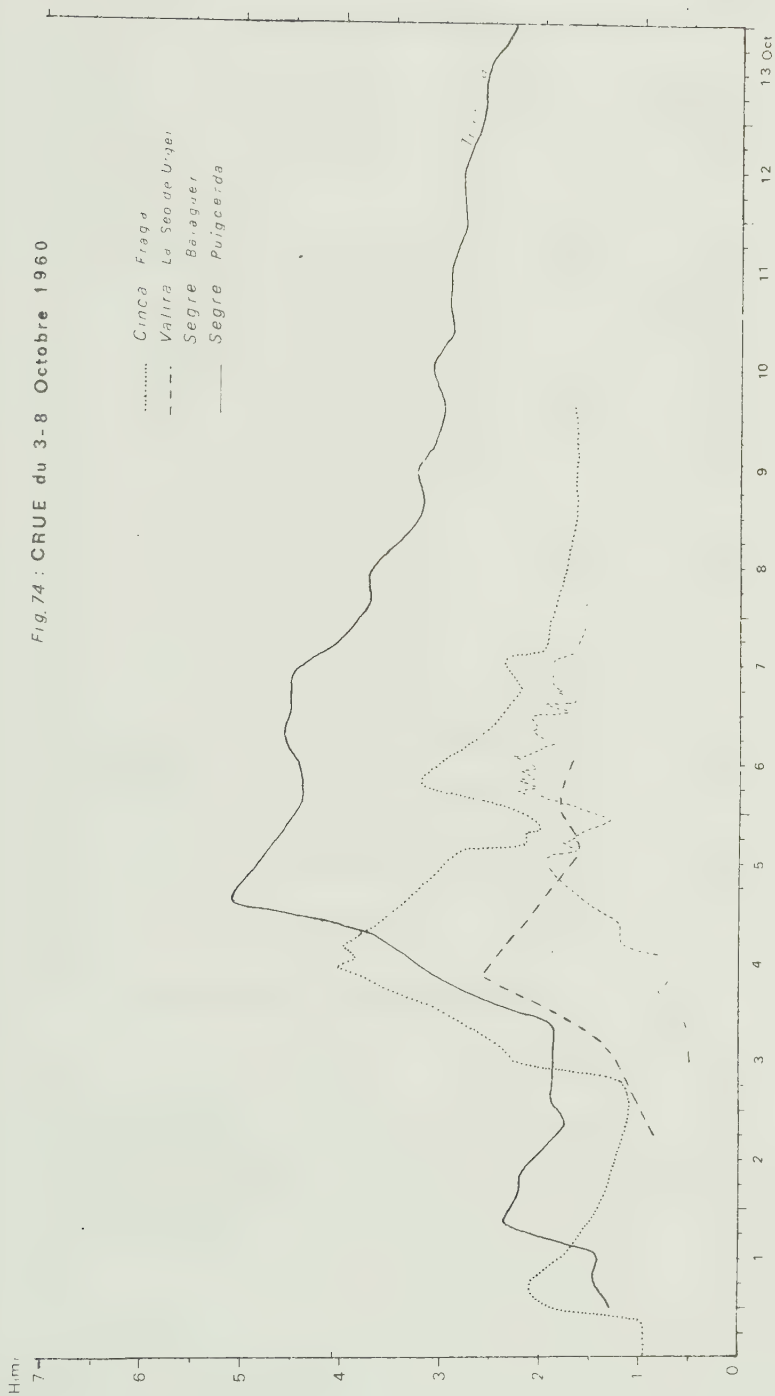


Fig. 75: CRUES d'Octobre 1960



néen. La pluie est alors générale et la carte d'isohyètes apparaît parfaitement incohérente, car aucun axe plus arrosé n'apparaît nettement (cf. fig. XLV. H.T.).

Toutes les rivières vont alors apporter leur contribution à une crue qui à Tortosa atteindra exactement la cote de débordement soit 6,50 m.

Ainsi l'Ebre a éprouvé en ce mois d'octobre, 3 poussées successives d'importance croissante puisque les débits ont été les suivants : 2100 m³/s le 4 ; 3050 le 24 et 3150 le 1 novembre. Maxima croissants pour des pluies d'importance décroissante ' deux raisons à cela : la plus grande efficacité du 2ème et du 3ème épisode pluvieux survenu après saturation des sols et tandis que les rivières étaient encore grosses de leur crue précédente, et surtout, pour la 3ème crue, intervention d'un plus grand nombre de rivières ; c'est là la principale cause de cette grosse poussée de l'Ebre alors que des rivières comme le Cinca et le Sègre n'ont apporté qu'une assez modeste contribution : respectivement 1368 et 520 m³/s. Avec 180 m³/s la part du Gallego est encore plus réduite ; de même celle du Jalon (80 m³/s). Ces derniers n'ont d'ailleurs contribué en rien au maximum puisque leur onde est passée avec 24 h de retard. Mais le bassin supérieur et moyen a fourni 1830 m³/s au lieu de 200 et 350 environ, lors des événements précédents.

3°/ La crue de juin 1953 sur le Sègre supérieur :

Le caractère original de cette crue du haut Sègre vaut que l'on en fasse ici une rapide description. Juin a été un mois de précipitations abondantes dans toute l'Espagne. La Corogne et Saragosse ont connu alors leur maximum mensuel dès 30 dernières années. Ces précipi-

tations de caractère essentiellement orageux vont redoubler d'intensité à la fin du mois, causant sur le bassin supérieur du Sègre la plus grosse crue enregistrée depuis le début du siècle.

Les 27 et 28 juin la situation barométrique se caractérise par la présence d'une barrière anticyclonique s'étendant des Açores à la Norvège et protégeant l'Europe des perturbations atlantiques. Sur le continent où stationne de l'air polaire continental chaud, le gradient barométrique est faible. Deux dépressions faiblement creusées en surface mais que l'on retrouve à tous les niveaux, accompagnées de gouttes froides d'altitude se localisent sur la Péninsule Ibérique et les Alpes. Ces dépressions orientent le flux d'air tropical chaud et instable qui s'écoule vers le N depuis quelques jours d'une part vers l'Italie, d'autre part vers le S de la France et le NE de l'Espagne. Vers le 26, des orages éclatent un peu partout en Espagne. Le 28 au soir la Catalogne est atteinte par le front occlus d'une perturbation tropicale. Les vents en surface sont faibles, de secteurs S à SE. Cette situation favorise le développement de nuages de convection de type cumuloforme. Des orages éclatent dans la nuit du 28 au 29 et la journée du 29, prenant l'allure d'une très forte tourmente, à la Seo de Urgel où l'on relève au matin du 29, 90 mm d'eau.

La carte de l'averse montre une aire de forte pluie, bien délimitée, s'étendant du bassin de l'Arba au Sègre supérieur. En réalité cette bande se divise en deux noyaux de pluie plus intense : un noyau principal, étiré d'W en E de l'Esera supérieur à la Sierra del Cadi et dont le centre de gravité se situe dans la région de la Seo de Urgel. A Adrall, un peu au S de la Seo, il est tombé 200 mm d'eau en

quatre jours dont 100 mm le 27 et 84 le 30. L'isohyète 75 mm qui enveloppe cette aire laisse à l'extérieur la Cerdagne et l'Andorre. Le 2ème noyau s'organise autour de Egea de Los Caballeros dans le bassin moyen de l'Arba. Entre les deux, la vallée du Cinca n'est touchée que dans sa partie supérieure par l'extrémité de la première aire de pluie ; celle du Gallego, dans sa vallée moyenne par une excroissance orientale du 2ème noyau. Les versants cantabriques et ibériques n'enregistrent que de faibles lames d'eau. Pourtant dans le SE du bassin de l'Ebre, les vallées supérieures du Jiloca et du Guadalope reçoivent plus de 50 mm et jusqu'à 92 mm de pluie.

On peut supposer qu'à la pluie s'est ajoutée l'eau des dernières neiges qui ont dû fondre alors sous le souffle chaud du flux tropical, ce qui expliquerait que, malgré leur situation hors de l'aire de pluie maximale, le Sègre supérieur et les Valiras aient connu, le 29 juin leur crue maximale des 25 dernières années. Le 29 au matin, à Puigcerda, le Sègre qui roulait la veille au soir 4,4 m³ d'eau par seconde, enfle brusquement à 150 m³. Le Valira passe dans le même temps de 17 à 89 m³/s et pousse une pointe de 375 m³/s. Le Carol lui aussi accuse son maximum maximorum, mais de façon beaucoup plus modeste, avec seulement 35 m³/s. Ces débits ajoutés vont donner à la Seo de Urgel une crue de 675 m³/s. Le 26 juin, le débit n'était ici que de 11 m³/s.

Très pointue comme la plupart des crues de haut bassin, celle-ci s'est émoussée très vite vers l'aval, à cause des débordements, de l'action des barrages et de la faiblesse des pluies dans la vallée inférieure. C'est pourquoi les débits ont évolués de façon négative.

De 675 m³/s à la Seo, on est passé à 680 à Oliana au coeur de la zone pluvieuse, mais à partir de là les chiffres baissent progressivement : 610 à Pons, 760 après le confluent de la Pallaresa, 596 à Seros. Le Cinca quelque peu éclaboussé par la pluie est monté à 396 m³/s et chose curieuse et relativement rare, les deux flots ont dû coïncider à peu près pour provoquer à Tortosa une onde de 1400 m³/s le 1er juillet.

4°/ Caractères communs aux crues est-pyrénéennes :

a) Extension :

Comme le montre la planche relative à l'origine géographique des crues, on constate que, lors des crises pyrénéennes, réagissent ensemble avec seulement des variantes dans l'intensité : le haut Aragon jusqu'à Jaca, le Gallego, le Cinca et ses affluents, le Sègre moyen et inférieur, à l'exclusion de la Cerdagne. Dans certains cas seulement, le bassin de l'Aragon, parfois aussi le Jalon, plus rarement le Guadalope entrent aussi en jeu.

b) Conditions météorologiques :

Dans l'ensemble, les grands collecteurs pyrénéens sont sensibles essentiellement aux flux perturbés de SW remontant en diagonale à travers la péninsule selon une direction moyenne : Golfe de Cadix - Pyrénées. Lorsque le flux est plus occidental, l'Aragon seul est intéressé, lorsqu'il est plus oriental (cas des perturbations de Gibraltar). C'est le Sègre qui réagit le plus violemment. Ces perturbations sont commandées par une dépression située soit dans le golfe de Gascogne (ou au large de ce golfe) soit au contact du Portugal, soit

enfin dans le golfe ibéro-marocain. On sait que ces dépressions sont généralement des dépressions dynamiques succédant à un flux de N à NE qui a pu apporter sur les reliefs du bassin quelques précipitations neigeuses. Le rôle de ces dépressions est double : non seulement elles dirigent les perturbations mais elles alimentent en air froid, océanique, le secteur froid postérieur et aspirent l'air chaud et instable, d'origine méditerranéenne ou tropicale qui forme le secteur chaud. Il s'ensuit de forts contrastes de température générateurs de pluies intenses.

D'une façon générale, l'intensité de la pluie est liée :

- A la puissance du flux méridional chaud et instable, porteur d'humidité ;

- A la puissance des contrastes thermiques, lesquels dépendent :

- . de la saison (ils sont plus forts aux saisons intermédiaires et les crues sont donc davantage à craindre au printemps et en automne ;

- . de l'existence en altitude d'un flux d'air froid renforçant les condensations au long de la surface frontale

- A la position de la masse d'air froide par rapport aux reliefs.

Lorsque la masse froide coiffe la montagne pyrénéenne, l'air froid d'altitude, débordant les sommets se déverse au-dessus de l'air tropical, provoquant dans un premier temps une grande instabilité et de puissantes ascendances. Dans un deuxième temps, l'air froid arrive au sol, et la pluie se déclenche, souvent violente.

D'une façon générale, les averses liées à des flux de SW intéressent une zone qui s'étend du haut Aragon à l'interfluve Ribagorana-Pallaresa, plus précisément au bassin du Flamisell. La pluie atteint parfois aussi les montagnes d'Andorre, mais le bassin cerdan et la haute Pallaresa sont généralement épargnés dans ce cas là à cause de leur position d'abri, et semblent réagir davantage aux perturbations venues du SE ou du S à cause d'un caractère orageux généralement plus accusé.

Un certain nombre de crues pyrénéennes ont en effet pour origine des flux perturbés de S ou de SE.

Les flux de Sud sont ainsi responsables des crues d'octobre 1965, juin 1960, mai 1954. Dans tous les cas, on a observé quelques jours avant l'averse, un anticyclone atlantique étiré NS protégeant l'Espagne des perturbations d'Ouest, mais dirigeant vers elle un flux frais doublé en altitude d'une coulée froide. Au point d'aboutissement de ce flux froid, une dépression s'est creusée localisée au Sud de la péninsule. On a assisté alors à une remontée massive d'air tropical tandis que la dépression et ses perturbations associées se déplaçaient vers le Nord en flux perturbé de Sud. Dans ces cas, le Jalon, est souvent affecté par l'épisode pluvieux.

Les flux de SE, qui intéressent surtout la moitié est des Pyrénées et plus précisément le bassin du Sègre où ils ont provoqué les graves crues d'octobre 37 et juin 53 ne sont qu'une variante des flux de SW. Il s'agit en effet de perturbations de Gibraltar passées en Méditerranée et retournées ensuite vers le NW soit - en automne surtout - par la dépression des Baléares, c'est le cas le plus fréquent (cf. oc-

tobre 37), soit en été, par une dépression thermique stationnée sur la Meseta (cf. juin 1953).

Les orages estivaux sont parfois assez violents pour déclencher sur les hautes vallées pyrénéennes des crues catastrophiques comme celles d'août 1963 sur la haute Ribagorzana, et gonfler le fleuve au-delà de 2000 m³/s comme en juillet 1960. Le plus souvent il n'y a pas alors de véritables flux perturbés mais des fronts froids circulant d'Ouest en Est à l'avant de masses d'air océaniques fraîches dirigées sur l'Espagne par l'anticyclone des Açores ou son apophyse nord-atlantique. Le passage des fronts froids déclenche des orages lorsque stationnent sur le pays des masses d'air méditerranéen lentement remontées sous l'effet de la dépression thermique de la meseta

Enfin, sur une vingtaine de crues pyrénéennes étudiées, nous avons trouvé une crue, celle de mars 1960, ayant pour origine une situation d'Ouest. Mais il faut préciser que les perturbations responsables ont cheminé à des niveaux très bas, approximativement autour du 40^e parallèle

On soulignera pour terminer que l'étude des averses provoquées par ces diverses situations n'a rien donné de comparable aux phénomènes auxquels nous ont habituée les Pyrénées orientales, les Cévennes ou les petits bassins de l'Apennin ligure. Pourtant les données sont souvent assez semblables : on note en particulier les mêmes contrastes de température entre les mêmes masses d'air. Mais deux éléments manquent le plus souvent :

Les phénomènes de blocage par l'anticyclone continental. Cet anticyclone qui s'avance parfois jusqu'au niveau des Alpes françaises

lorsque fonctionnent les flux perturbés de SE ou de SW et joue un si grand rôle lors des crues cévenoles d'automne, est ici trop lointain pour exercer un blocage efficace.

Les gouttes froides responsables des plus forts abats d'eau semblent éviter quelque peu les Pyrénées. On les trouve plus fréquemment au large du Portugal, au S de l'Espagne, ou bien sur le littoral catalan où elles sont responsables des trombes d'eau qui affectent parfois la région de Barcelone ou celle de Tarragone. On notera que le delta de l'Ebre et en amont la région de Tortosa sont parfois concernés par ces phénomènes. Ainsi s'explique la localisation dans ce secteur des plus fortes pluies de 24 heures, enregistrées sur le bassin del'Ebre.

c) Caractères hydrologiques :

Le caractère essentiel des rivières est-Pyrénéennes est de donner des crues très pointues présentant un fort maximum mais un faible volume global. Cela est vrai surtout pour le Cinca qui, de 1948 à 1970 a écoulé 21 crues supérieures à 1000 m³/s, soit une moyenne de 1 par an. Malgré un bassin versant de dimensions beaucoup plus modestes, le Gallego a dépassé deux fois 1000 m³/s. Par contre, étant donné les caractères particuliers des crues méditerranéennes grande intensité mais faible durée, ces crues sont assez peu volumineuses, beaucoup moins que celles de l'Aragon d'autant que le facteur neige joue un rôle généralement moins important, en particulier pour les phénomènes d'automne. Concentration de la pluie et pentes torrentielles expliquent un autre caractère de ces crues : leur vitesse d'évolution et d'écoulement qui est toujours très rapide.

Une rivière s'écarte de ces normes : le Sègre qui, malgré son énorme bassin de 13000 km² n'a atteint lors de sa crue maximale (pour la période 1948-1974) que le modeste débit de 768 m³/s. Deux raisons à cela ou l'a vu : le régime climatique très particulier de la Cerdagne et de la haute Pallaresa, et les aménagements hydrauliques. Les nombreux barrages qui s'égrennent au long du Sègre et des Nogueras non seulement écrêtent les ondes de crue, mais encore transforment totalement leur mode d'évolution.

D'une façon générale et mis à part le cas du Sègre, ces crues est-pyrénéennes sont, par leur puissance et leur rapidité, très dangereuses pour la vallée inférieure du fleuve. Elles sont responsables en particulier de 8 des 30 crues supérieures à 2000 m³/s enregistrés à Tortosa. D'autre part, ce sont des phénomènes est-pyrénéens qui sont à l'origine des maxima absolus enregistrés à Tortosa en 1907 et 1927. Par contre, depuis 1948 il semble que les affluents de cette partie des Pyrénées puissent difficilement à eux seuls, gonfler le fleuve au-delà de 3000 m³/s. Faut-il voir là un effet des aménagements humains ou simplement d'un hasard climatique? Sans doute chacun de ces éléments a-t-il dans cette évolution une part de responsabilité qu'il est difficile de chiffrer.

SECTION III - LES CRUES DE VERSANT IBERIQUE -

Elles sont rares, et dans l'ensemble peu importantes, tant en ce qui concerne les maxima instantanés (bruts et spécifiques) que les volumes globaux. D'autre part, étant donné la longueur de ce versant ibérique, étiré des confins du domaine cantabrique à ceux du milieu méditerranéen, il n'est pas étonnant que ces rivières possèdent une certaine indépendance les unes par rapport aux autres. Mais au-delà de cette liberté d'allure, ces affluents possèdent en commun un certain nombre de caractères que nous essaierons de dégager à travers quelques exemples.

A - QUELQUES EXEMPLES DE CRUES DE VERSANT IBERIQUE -

1^e / Crue du 14 - 15 octobre 1957 :

Il s'agit d'une crue très violente et très localisée ayant affecté presque uniquement le bassin du Guadalupe.

Cette crue tout à fait exceptionnelle eut pour cause un orage d'une rare violence qui commença sur la Sierra de Gudar et se déplaça ensuite vers le NE. La situation barométrique responsable de ces événements (cf. Fig. XXIII H.T.) se présentait le 14 au soir de la façon suivante : une dorsale anticyclonique étirée des Açores à la Grande Bretagne et au Danemark protège l'Europe des perturbations atlantiques qui sont rejetées très haut vers la Scandinavie. Sur la Péninsule Ibé-

rique stationne de l'air polaire qui, dans cette atmosphère calme et ensoleillée ne cesse de se réchauffer et de devenir plus instable. Cet air entre en contact avec l'air tropical plus chaud encore, au long d'un front stationnaire qui se termine à peu près au-dessus des reliefs séparant le bassin du Guadalope du versant méditerranéen. Une petite goutte d'air froid de 500 km environ de diamètre, se détache alors du courant général et vient échouer dans ce même secteur. C'est cet air froid qui, en s'affaissant brutalement dans l'air chaud et instable, a provoqué la formidable détente qui seule pouvait expliquer les intensités pluviométriques observées.

L'orage a affecté une zone restreinte et bien délimitée (cf. fig. XXXVII H.T.) . Le maximum de violence est apparu immédiatement au S. du delta, sur la plaine côtière, les petits massifs de Caro et Montsia, les Puertos de Beceite, et le NE du Maestrazgo. Signalons les 222 mm enregistrés en deux jours au pied du Montsia dont 123 en 24 heures, et surtout le record de cet épisode : 164 mm tombés entre le 14 octobre à 8 h et le 15 octobre, même heure, sur une petite localité située au sud de Valderrobres. Au-delà de cette zone de forte pluviosité qui atteint surtout le haut Matarraña et le haut Guadalopillo, les isohyètes se disposent en auréoles de valeur dégressive, la plus externe, celle de 75 mm englobant l'ensemble des bassins du Guadalope, du Matarraña, et l'Ebre inférieur depuis Caspe. Une apophyse de cette aire pluvieuse s'étire à travers le bassin moyen de l'Aguas Vivas et du Martin jusqu'au Jiloca, provoquant une faible réaction de ces rivières.

On peut qualifier de foudroyante la crue provoquée par ce déchaînement atmosphérique. En effet, les rivières ont grossi avec une

rapidité catastrophique et la décrue, quoique moins rapide n'a guère duré plus de 48 heures, même à l'aval du Guadalope. Ici, à Alcañiz plus précisément, la rivière était au plus bas depuis le début octobre et le 13 ne coulait encore dans son vaste lit que 2, 5 m³/s. Brusquement tandis que l'orage éclaire, le débit monte à 710 m³/s le 13 et 835 m³/s le 15. Le 16, il n'est plus que de 79 m³/s. Voilà un phénomène tout à fait caractéristique du monde méditerranéen et qui par sa rapidité, sa violence, son caractère imprévisible rappelle nos crues cévenoles ou catalanes. Plus exposé encore que le Guadalope, le Matarraña a dû connaître des événements semblables. Malheureusement, il n'existe de station de jaugeage sur cette rivière que sur les très hauts bassins, à l'issue de 10 à 50 km² de sorte qu'il est difficile d'avoir quelques précisions sur les débits. Toutefois, connaissant l'évolution de la crue à Tortosa et la valeur des principaux apports, nous avons pu évaluer à 300 ou 400 m³/s l'onde du Matarraña. L'influence de ces crues élémentaires sur l'Ebre intérieur est assez spectaculaire pour qu'on la signale ici. En effet, tandis que le 14, le fleuve atteignait au niveau de Tortosa son minimum du mois, un minimum d'ailleurs très creusé de 53 m³/s seulement, le lendemain les eaux se mettent à monter rapidement pour atteindre près de 4 m au moment du maximum, soit un niveau représentant un débit de 1455 m³/s. Cette crue devait passer moins vite que sur le Guadalope à cause d'une légère poussée du Cinca et du Sègre qui apportèrent le 16 une centaine de m³/s permettant ainsi le maintien du débit à près de 800 m³/s pour une journée encore.

On a là un type de crue qui par son évolution rappelle les crues méditerranéennes, mais par son origine se rattache à toute une famille de phénomènes atteignant de préférence le bassin du Jalon, la

zone subpyrénéenne de Huesca, et parfois aussi certaines hautes vallées pyrénéennes.

2 / Crue du 15 - 17 mai 1954 :

C'est encore une situation d'orage, mais intéressant cette fois une aire beaucoup plus vaste qui est à l'origine des crues de mai 1954. Mais celles-ci ont perdu en intensité ce qu'elles ont gagné en extension.

A partir du 12, une cellule anticyclonique stationnée sur l'Atlantique nord, dirige vers le Sud un flux d'air polaire maritime froid. Cet air envahit progressivement le pays, soulevant l'air polaire ancien donc réchauffé qui y stagnait, et provoquant une grande instabilité atmosphérique (cf. fig. XXIII H.T). Des orages éclatent sur le versant cantabrique et tout le Nord de l'Espagne et cette activité orageuse se propage rapidement dans tout le pays, au fur et à mesure de l'invasion froide. Jusqu'au 14 mai, les chiffres de pluie relevés ne sont pas encore inquiétants, malgré le passage de plusieurs fronts froids successifs. Les cartes d'altitude nous révèlent en effet que l'Espagne est sous l'influence d'une crête planétaire. Mais le 14 mai dans la matinée, on voit apparaître la vallée qui lui fait suite tandis qu'en surface continuent à souffler des vents de NW. Les choses se gâtent alors. Les journées du 14, 15, 16 sont marquées un peu partout par d'abondantes chutes de pluie. 4 secteurs reçoivent plus de 100 mm d'eau pendant la période du 13 au 18 mai : le secteur cantabrique, plus précisément la haute vallée du Zadorra, avec prolongement de l'aire pluvieuse jusqu'au haut Irati, la haute et moyenne Pallaresa et la

vallée moyenne du Sègre, les versants dominant le haut bassin du Guadalo-
pe, enfin les reliefs bordiers de la tresse de Calatayud-Daroca (cf.
fig XXXIV H T)

Sous l'effet de ces multiples orages, la plupart des riviè-
res connaissent des crues brutales mais rarement catastrophiques. Ce
sont les rivières des Pyrénées centrales, du haut Aragon à la Ribagor-
zana, qui réagissent les premières dès le 15 mai. Le lendemain, les
organismes des deux extrémités des Pyrénées : ceux des Pyrénées occi-
dentales d'une part, jusqu'à l'Aragon, Pallaresa et Segre d'autre part,
montent à leur tour. Le 17 et le 18 enfin, deux se rejoins au tempérament
pourtant bien différent entrent en crue en même temps : d'une part le
versant cantabrique, d'autre part les réseaux du Jalon et du Guadalo-
pe.

Dans l'ensemble, les événements n'ont rien de très spé-
taculaire. Leur intérêt est de souligner des zones particulièrement
sensibles aux orages dans les cas des froids froids de NW se déclenchant
après une période calme ayant permis le réchauffement de l'air et le
développement de l'instabilité. Dans les cas là, le versant ibérique
est toujours concerné mais comme on le voit, il n'est pas le seul. Plus
spécifique par contre du versant qui nous occupe est le cas du 3 juin
1954.

3° / Crue du 3 juin 1954 :

En le début de juin 1954, nombre de petites rivières du ver-
sant ibérique ont enregistré leur crue maximale (Aguas Vivas, Jiloca),
ou des débits proches du maximum (Gidacos). En même temps, l'ensemble
des rivières du versant ibérique, du Najerilla au Guadalo-
pe ainsi que

le Sègre et le Cinca inférieurs, réagissaient à un épisode pluvieux intéressant de vastes secteurs du bassin en particulier sur le versant de rive droite. La carte de la pluie est assez complexe (cf. fig. XXXV H.T.) , mais souligne toutefois deux zones pluvieuses : le versant ibérique du rio Oca jusqu'au bassin amont du Guadalope, et les bassins du Cinca et de la haute Pallaresa. A l'intérieur de cette zone, le maximum s'organise en une étroite bande étirée du Cidacos supérieur au bassin moyen du Jalon. Là, le secteur le plus touché a été, aux environs de Cariñena, le premier bourrelet du Système Ibérique, bordant au Nord la fosse Calatayud-Daroca. En plusieurs points, dans la journée du 2 juin, les pluviomètres ont recueilli 100 mm de pluie, et l'on a même enregistré 120 mm au NW de Cariñena. C'est la concentration de cette pluie en quelques heures seulement qui, malgré le faible volume global des précipitations, malgré la température relativement élevée du fait de la saison et des masses d'air en cause, malgré les caractères morphologiques peu propres à ce genre de phénomène explique le déclenchement de la crue. Il est vrai que les pluies de mai avaient dû déjà préparer quelque peu le terrain.

C'est une situation barométrique tout à fait typique des épisodes de mauvais temps sur le versant ibérique qui est à l'origine des faits exposés (cf. fig. XXIII H.T.). Entre le 1er et le 2 juin, on a constaté l'évolution suivante :

- Le 1er juin, la dorsale anticyclonique réunissant la Scandinavie aux Açores se renforce, entraînant la frontolyse de la perturbation qui s'approchait de l'Europe par la voie d'W4. Le 2 juin, tandis que la partie N de la perturbation occluse s'évanouit, la partie mérid-

dionale adopte une trajectoire SW - NE et se dirige vers le bassin occidental de la Méditerranée, en traversant l'Espagne où une dépression est en train de se creuser. L'occlusion atteint la haute vallée du Jalon-Jiloca le 2 vers midi. On a alors une situation typique de pluie, accompagnée de phénomènes orageux sur le versant N du Système Ibérique. En surface les vents sont faibles, et de secteur SE, liés à la dépression creusée sur les plateaux de Castille. En altitude, un axe de basses pressions s'étire des Açores au golfe de Biscaye, accompagné d'une goutte froide, et dirige sur l'Espagne du Centre et du N un flux de SW frais, qui se superpose au léger flux de SE de surface.

En arrière du front occlus, de l'air polaire maritime en provenance du SW, pénètre sur le pays et devient de plus en plus instable. Cette instabilité est accentuée par la route froide d'altitude qui va s'affaiblir dans la soirée du 2 juin, provoquant les événements que l'on sait.

La localisation de la pluie et le caractère karstique de certains affluents (Mesa-Piedra) expliquent que la crue ait affecté essentiellement le Jiloca dans son cours inférieur et moyen et le Jalon à partir du confluent du Jiloca. A Morata de Jiloca, cette rivière passe de 10 m³/s le 1^{er} juin, à 93 m³/s le 3, et le 4 juillet représente le maximum enregistré depuis 1941 au moins. Ces gros débits ajoutés à une crue secondaire du Piedra représentent l'essentiel des 126 m³/s qui sont passés à Huermeda, soit le Jalon supérieur conformément à la répartition de la pluie à peu bégé. Quelques rivières voisines accusent leur maximum : l'Aguas Vivas avec 30 m³/s (60 fois le débit moyen). Le Cidacos est près de son record, de même le Huerva. Le Guadalupe n'é-

prouve qu'une crue secondaire. Sur l'autre versant du bassin de l'Ebre, l'Alcanadre qui était très bas, grossit quelque peu, le Cinca qui a reçu quelques éclaboussures double de volume, le Sègre gonfle aussi légèrement. Mais tout ceci représente assez peu de chose, de sorte que sur le collecteur, les effets de cette pluie sont plus sensibles à Saragosse où le débit passe de 164 m³/s le 2 à 720 m³/s le 3 qu'à Tortosa où le fleuve se contente de doubler le débit des jours précédents (1360 m³/s le 6 contre 600 le 3).

B - CARACTERES GENERAUX DES CRUES IBERIQUES -

Comme on l'a déjà souligné elles sont rares et peu spectaculaires sauf exception. Elles se produisent généralement à la fin du printemps ou au début de l'été : mai-juin étant les mois de prédilection; mais la partie SE (bassin du Guadalope) soumise à l'influence méditerranéenne, réagit plutôt en octobre-novembre.

1' / Conditions météorologiques :

Cette rareté des crues ibériques est due à la situation continentale de ce secteur et à son orientation qui le rendent pratiquement insensible aux principaux flux perturbés affectant le Nord de l'Espagne et qui peuvent se révéler dangereux pour les autres rivières. Les flux du NW par exemple qui atteignent parfois encore faiblement les rivières descendues de la Demanda, achèvent de s'épuiser contre le flanc N du Moncayo. En arrière, le bassin du Jalon est totalement abrité dans une sorte

de renforcement à l'intérieur des terres. Par flux de SW, ce même bassin jouit encore d'une position d'abri, soit que les perturbations passées par Gibraltar remontent vers le Nord et intéressent seulement le versant est de la péninsule (et le bassin du Guadalope) soit que celles-ci circulent au large du golfe cantabrique et attirent alors des vents de SE qui vont arroser les Pyrénées. Finalement, nous avons relevé trois types de situation susceptibles d'entraîner des pluies importantes, et par conséquent des crues dans le secteur qui nous occupe :

- Les situations d'orage. Elles apparaissent généralement en saison chaude après une période de calme atmosphérique qui a permis le réchauffement de l'air et le développement d'une certaine instabilité. Dans ces conditions, une dépression thermique s'est installée sur la Meseta attirant un léger flux de SE. Deux phénomènes bien précis peuvent alors déclencher l'orage : le passage de fronts froids de NW, commandés généralement par l'anticyclone nord-atlantique. Dans ce cas, le versant ibérique n'est pas le seul affecté. L'ensemble du bassin de l'Ebre est susceptible d'éprouver de violentes averses, mais certains secteurs parmi lesquels celui qui nous occupe sont particulièrement sensibles à ces situations (exemple du 16 mai 1954). Des orages peuvent aussi se déclencher sans qu'aucun front soit visible sur les cartes de surface. Mais les cartes à 500 millibars reflètent un flux froid de SW commandé par une dépression d'altitude stationnée généralement au SW de la péninsule. Dans ce cas, les orages nés sur le Moncayo, la région de Daroca-Calatayud ou la Sierra de Albarracin se déplacent vers le NE. Fréquemment, ils remontent le Gallego ou le Sègre inférieur de sorte que ces rivières connaissent généralement de légers soubresauts lors des crues ibériques de ce type. Dans l'un et l'autre cas, les pluies

les plus violentes se produisent lorsqu'une goutte froide d'altitude vient à s'abaisser dans l'air instable de surface.

- La crue de juin 1954 représente un deuxième type de situation caractéristique de pluie et de crue : il s'agit du cas d'une occurrence coïncée dans la vallée de l'Ebre.

- Enfin, lorsqu'une perturbation de SW ou de S remonte à travers le centre de la péninsule, elle entraîne à l'arrière de son front froid un flux d'air atlantique relativement frais de SW qui se heurte à l'air méditerranéen tiède de SE. Le passage du front froid est alors jalonné par de fortes précipitations qui affectent non seulement le versant ibérique, mais au-delà de la dépression de l'Ebre, tout le versant des Pyrénées centrales. La crue n'est plus alors spécifiquement ibérique, elle concerne tout le bassin moyen de l'Ebre, mais les rivières ibériques sont particulièrement sensibles à ces phénomènes, et c'est d'ailleurs dans ces conditions que le Jalon a connu, en mai 1956, sa crue maximale. Etant donné l'extension de ce phénomène, on le décrira plus en détail dans le cadre de l'étude sur les crues généralisées.

Remarquons avant de terminer que dans ces trois cas, la pluie responsable s'est produite lors de l'affrontement de masses d'air polaire maritime frais en provenance du SW et de masses d'air chaudes et instables, polaires encore le plus souvent, mais ayant évolué à la suite d'un long stationnement sur le pays.

2°/ Caractères hydrométriques :

Les crues déclenchées par ces phénomènes atmosphériques présentent les caractéristiques des crues d'orage. Elles sont rapides,

pointues et éphémères, et le volume d'eau déplacé est faible. Les crues du Jalon sont d'autre part très chargées en troubles dont la forte coloration rouge-chocolat reste longtemps sensible sur l'Ebre lui-même. Ainsi, lorsque les Saragossans voient grossir leur fleuve depuis le Pont de Pierre, ils savent à la couleur des eaux si le Jalon "est sorti".

Si les crues de cette rivière sont déterminantes en ce qui concerne la coloration des eaux de l'Ebre, l'influence sur les débits de celui-ci est par contre mineure. La crue maximale à Huermeda (283 m³/s en mai 1956) n'a pas empêché les débits du fleuve de diminuer entre Castejon et Saragosse, et il a fallu qu'un grand nombre de rivières se mettent de la partie pour que les crues de 1954 portent les débits de l'Ebre inférieur au voisinage de 2000 m³/s.

Plus proche de Tortosa et capable de crues plus puissantes, le Guadalope est par contre plus efficace et l'on a vu qu'avec la seule aide du Matarranà et des petits torrents du bassin inférieur, il avait pu en octobre 1957, faire passer les débits de l'Ebre de 53 à 1455 m³/s.

D'autre part, le Guadalope ne réagit pas tout à fait aux mêmes situation atmosphériques que le Jalon. Cela est visible d'ailleurs beaucoup plus sur les listes des 15 premières crues où deux crues seulement se retrouvent dans l'une et l'autre série mais à des niveaux très différents, que sur le tableau des flux perturbés. Toutefois il apparaît que le Guadalope est plus particulièrement sensible aux perturbations de SE venues de la Méditerranée toute voisine tandis que le Jalon a ses réactions les plus violentes par flux de S. Il en résulte

que le Jalon présente rarement des crues isolées (sauf dans le cas d'orages locaux) cependant que le Guadalope fait assez souvent cavalier seul. Tout au plus le Sâgre l'accompagne-t-il. En effet, il est rare que les perturbations de SE pénètrent très profondément à l'intérieur du pays. Le plus souvent, seuls sont atteints les affluents les plus orientaux

SECTION IV - CRUES GENERALISEES ET CRUES COMPLEXES -

Nous en distinguerons deux types :

Celles qui résultent d'un seul flux perturbé, affectant par suite de conditions particulières, la totalité du bassin.

Celles qui résultent d'une succession rapide de flux perturbés différents, affectant chacun un secteur bien précis du bassin. A vrai dire, il s'agit plutôt dans ce deuxième cas d'une juxtaposition de crues que de crues généralisées proprement dites. Nous les distinguerons sous le nom de crues complexes.

A - LES CRUES GENERALISEES : LES EVENEMENTS DE MAI 1966, NOVEMBRE 1966 ET JANVIER 1960 -

Malgré la diversité climatique du bassin et les réactions souvent différenciées des bassins élémentaires, il arrive que la totalité ou la quasi-totalité des rivières participent à une même crue

Alors se produisent sur le cours inférieur, des ondes qui par leur volume comptent parmi les plus puissantes dont le fleuve soit capable.

Du point de vue de leur genèse, les douze crues de ce type que nous avons étudiées, se répartissent en deux catégories : celles qui se déclenchent par flux perturbés de S, celles qui relèvent d'un flux perturbé de SW.

La crue de mai 1956 illustre bien le premier cas. Après les grands froids de février 1956, l'Espagne devait connaître en ce mois de mai de nouveaux cataclysmes. Les précipitations copieuses tombées sur le bassin de l'Ebre (8748 millions de m³, 101,9 l/m², soit le maximum enregistré en mai depuis au moins 20 ans), devaient faire brusquement gonfler et déborder tous les affluents du cours moyen, depuis l'Ega jusqu'au réseau Sàgre-Cinca et chose plus extraordinaire, les cours d'eau de rive droite, au tempérament plutôt indépendant se mirent eux aussi de la partie, pour provoquer à Saragosse une crue extraordinaire de 2744 m³/s et faire monter les débits à près de 3000 m³/s à Tortosa. Mais les événements les plus graves se produisirent sur le cours moyen et inférieur de l'Aragon et sur celui du Jalon, en particulier dans la région de Calatayud où les dégâts causés par l'inondation furent très importants.

La responsabilité de ces événements revient essentiellement à une perturbation qui a circulé du S au N, traversant ainsi la vallée moyenne de l'Ebre, et dont l'effet s'est trouvé aggravé par la présence d'une goutte froide d'altitude, oscillant entre le golfe de Biscaye et le large du Portugal. Les pluies provoquées par cette situation, ont ruisselé sur un sol détrempé par les précipitations de la semaine

précédente. En effet, depuis plusieurs jours régnait sur l'Europe occidentale un régime perturbé d'Ouest affectant essentiellement les Iles Britanniques et la France, mais aussi le Nord de l'Espagne. Après le passage du dernier membre de la famille de perturbations, on assiste à une invasion froide qui va être stoppée sur l'Espagne dans la soirée du 25 par une remontée d'air saharien sur l'Oranie poussant vers le SE de l'Espagne l'air méditerranéen. Dès ce moment le conflit entre l'air polaire froid, glissant sur la face est de l'anticyclone atlantique, et l'air chaud remonté d'Afrique du Nord va favoriser le creusement d'une dépression sur le SE de l'Espagne. Le front séparant les masses d'air ondule et une perturbation se dessine qui va balayer la péninsule du S au N et rester bloquée un moment au pied des Pyrénées qui seront finalement franchies dans la nuit du 26 au 27. La carte des variations de pression de la journée du 26 montre fort bien cette évolution. A 6h, un noyau de baisse venu du NW stationne de l'Espagne à l'Oranie, à 18 h, il est remonté en direction du Cap Finistère.

Conformément à la marche des fronts, la pluie dessine une large bande jetée du S au N au travers de la vallée moyenne de l'Ebre, tandis que les deux extrémités du bassin sont épargnées. A l'intérieur de la zone pluvieuse se dessinent deux noyaux plus arrosés : l'un étiré du S au N, du Jalon à l'Aitzgorri, l'autre épanoui au pied des Pyrénées. Il y a là une répartition peu conforme à l'orographie qui évoque une pluie essentiellement frontale. Les maxima de 24 h ont été relevés le 27 mai au matin à Estella, Irache, Saraguda. Ils s'élèvent respectivement à 130, 132 et 151 mm.

Plusieurs rivières ont éprouvé à l'occasion de cet épisode pluvieux leur crue maximale. Ce sont d'une part l'Ega inférieur, et un

certain nombre d'affluents de l'Aragon : Veral, Esca, d'autre part, le Jalon. A l'exception de l'Aragon dont les 930 m³/s représentent la 2ème crue des 25 années sur lesquelles porte notre étude, les autres grands affluents pyrénéens, de même que le Guadalope, n'ont éprouvé que des poussées de deuxième ordre, c'est pourquoi, malgré l'abstention de l'extrémité amont du bassin (située hors de la zone pluvieuse), les débits ont peu évolués entre Saragosse et Tortosa. Il est vrai qu'une fois de plus, la discordance entre les flots a permis d'éviter la catastrophe. Les 760 m³ du Cinca ont débouché dans le fleuve à peu près en même temps que les 930 de l'Aragon, mais 376 km séparent ces deux confluents. De sorte que le flot du Cinca est passé le 29 à Tortosa, celui de l'Aragon le 31. Ainsi la crue s'est-elle trouvée à la fois écrietée et étalée dans le temps.

- C'est à des phénomènes atmosphériques comparables que l'Aragon doit son énorme crue de novembre 1966, sans doute la plus importante du siècle. Bien que moins affectées, la plupart des autres rivières du bassin, ont, elles aussi, réagi à l'épisode pluvieux, de sorte que l'on peut considérer cette crue comme générale.

Comme dans le cas précédent, la situation météorologique est caractérisée par le passage d'un flux de secteur NW (jouant le rôle du flux d'Ouest de mai 1956) à un flux de secteur S, et la persistance, pendant toute la première décade de novembre, d'une goutte froide d'altitude qui a aggravé les phénomènes de surface, phénomènes assez complexes d'ailleurs, caractérisés par la succession de trois régimes dynamiques:

- Du 1er au 3 novembre un vaste anticyclone s'étire du cercle polaire au 45ème parallèle tandis qu'une zone dépressionnaire occupe l'emplacement le plus habituel de l'anticyclone des Açores (cf.

fig. XXIV. H.T.). Sur l'Europe centrale, le schéma est identique, anti-cyclone au Nord, dépression au Sud, sur la Méditerranée. Entre les deux systèmes, une dépression se creuse le 1er sur la mer du Nord. Rapidement, elle descend sur le golfe de Gascogne, puis passe en Méditerranée. La perturbation qui lui est associée est particulièrement active le 3, lorsque la dépression froide d'altitude aborde la péninsule. Cette situation crée une instabilité aggravée dans la région cantabrique par l'effet orographique toujours important ici dans le cas de vents de composante N. Pendant cette période, les centres d'action de l'Atlantique E se sont affaiblis sur leur face orientale, et leur centre de gravité s'est déplacé vers l'Ouest, laissant la dépression d'Islande reprendre ses droits, et un deuxième type de régime s'installer.

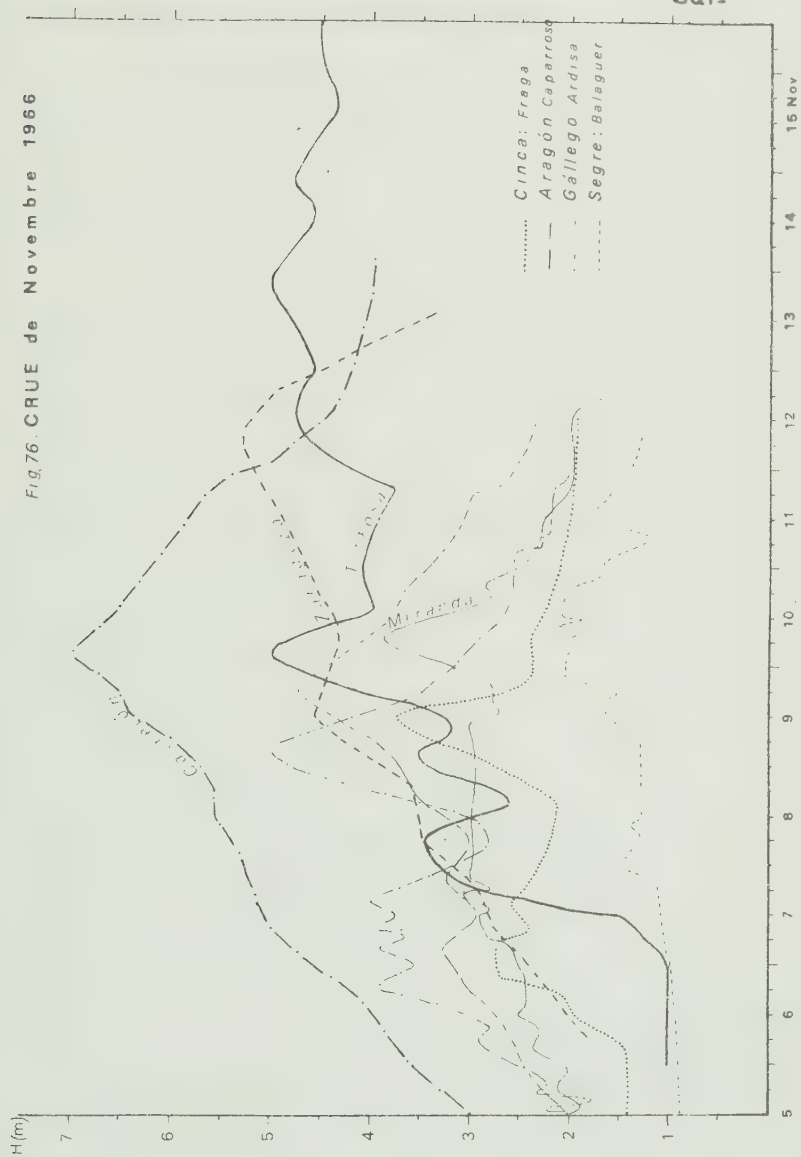
- Au cours des 4 et 5 novembre, la dépression d'Islande se déplace vers les Iles Britanniques en se creusant. Elle dirige alors sur l'Europe occidentale un flux perturbé de NW. La perturbation qui aborde alors le continent est accompagnée d'un corps pluvio-neigeux lié à des retours chauds d'altitude. Il neige abondamment sur les reliefs tandis que les pluies de bas pays provoquent une poussée des rivières pyrénéo-cantabriques.

- Le 6, la dépression d'altitude et celle de surface se déplacent en direction du golfe de Cadix d'où elles aspirent l'air chaud méditerranéen et saharien et dirigent un flux de Sud sur une grande partie de la péninsule. Ce flux tiède est séparé de l'air froid polaire maritime par un front qui ondule légèrement sur place du Maroc aux Pyrénées, sa progression vers l'Est étant stoppée par un puissant anti-cyclone continental. Ce blocage des fronts devait alors provoquer 3 jours de pluies continues, qui redoublèrent d'intensité le 8 novembre,

lorsque la dépression reprit sa marche vers le Nord pour se localiser un moment au pied des Pyrénées. Les précipitations se font alors sous forme de pluie et non plus de neige car le bassin de l'Ebre se trouve dans le secteur chaud de la perturbation, et les vents pluvieux sont des vents de SE tièdes qui vont de plus accélérer la fonte des neiges tombées les jours précédents.

Ces trois types de régime ont provoqué des pluies quasi continues du 1er au 10 novembre, sur toute la ceinture montagneuse du bassin, à l'exception de la partie SE. L'effet orographique a donc joué de façon beaucoup plus efficace que dans le cas précédent puisque la zone la plus arrosée s'est localisée du haut Arga à la haute Pallaresa. A l'intérieur de cette zone se dessinent deux aires de très fortes précipitations, supérieures à 300 mm pour la totalité de l'épisode : l'une couvrant les hautes vallées de l'Aragon, Aragon Subordán et Veral, l'autre le haut bassin du Cinca et du río Ara. Là, plusieurs records pluviométriques sont tombés à l'occasion de ces événements. Citons seulement le cas de Benasque sur l'Esera où il est tombé 150 mm de pluie le 6, 182 le 8 et 360 mm en trois jours, du 6 au 8. A Candanchu sur le haut Aragon, on a enregistré 140 mm le 2, 120 le 5, 460 mm du 2 au 6, soit en 5 jours, et 562 mm pour l'ensemble de la décade ! Mais plus encore que ces chiffres bruts, ce qui importe, c'est que, jusqu'au 4, 5 ou 6 selon l'altitude, les précipitations se soient faites sur les reliefs sous forme de neige. A partir du 6, et en particulier le 8, sous l'influence du souffle chaud méditerranéen, la pluie se substitue à la neige jusque dans les hautes vallées et la masse liquidée ainsi libérée, est venue grossir les volumes d'eau précipitée dans la journée du 8. Ainsi s'explique la supériorité de la crue de

Fig.76. CRUE de Novembre 1966



l'Aragon sur celle du Cinca ; les précipitations sur le bassin de l'Aragon n'ont pas été supérieures, mais elles ont été plus efficaces du fait de l'altitude plus faible, et par conséquent d'une fusion nivale plus complète. C'est donc de la coïncidence entre cet effet de fusion et une intensité pluviométrique tout à fait exceptionnelle qu'est née cette énorme crue de 2320 m³/s, la plus importante du siècle. En amont de l'Aragon, sur l'Ega, l'Arga, le Zadorra, ces phénomènes se retrouvent, mais atténués de sorte que ces trois rivières ont dû participer à la crue pour 1000 m³/s environ. Seul l'Ebre cantabrique a peu contribué au maximum, du fait de l'amortissement de l'onde par la retenue de Reinos. Malgré cette abstension, le 10 au matin, le niveau de l'Ebre s'élevait à près de 7 m au passage à Castejon, et le débit atteignait alors 4050 m³/s. Ce maximum devait par la suite se comporter comme dans le cas des crues de haut bassin. En effet, les autres rivières pyrénéennes ayant réagi à peu près en même temps, du fait de la disposition des confluences, les flots se sont succédés dans le collecteur principal sans s'ajouter. Le résultat fut, au niveau de Tortosa, une crue d'importance moyenne, 1960 m³/s, seulement pour le maximum, mais durable, étalée sur 10 jours au moins, et de ce fait volumineuse. Elle présente d'autre part un hydrogramme complexe à plusieurs pointes, où l'on reconnaît le passage du flot du Cinca, le 10 au matin, celui du Sègre, dans la nuit du 10 au 11, tandis que les deux pointes suivantes reproduisent à peu de choses près l'hydrogramme de Saragosse, et correspondent à la crue de l'Aragon.

- La crue de janvier 1960

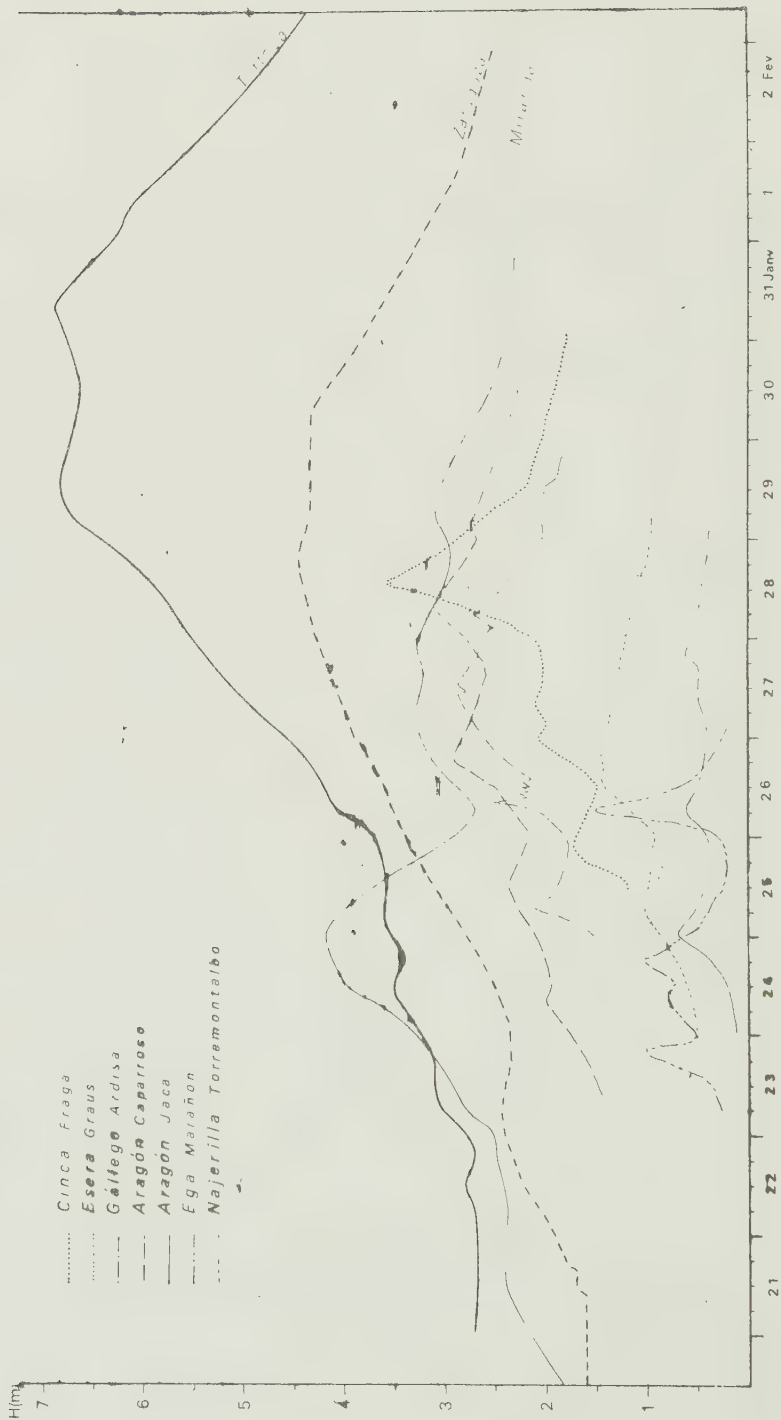
Cette énorme crue de 4160 m³/s à Tortosa, la 2ème enregistrée depuis 1937, doit son origine non point à des pluies phénoménales,

mais au fait que presque toutes les rivières ont **participé** à sa formation et surtout - et c'est ce qui fait son **originalité** et son intérêt -, à une concordance aussi étonnante que fâcheuse **entre** une crue cantabrique développée le 24 sur le haut bassin et une **crue** pyrénéenne le 28, affectant de façon plus ou moins importante les **collecteurs** descendus de cette chaîne.

A vrai dire, le fait le plus étonnant **ici** est moins la concordance que la poussée cantabrique du 24 qui **résulte** de phénomènes intéressant généralement les Pyrénées et non le **haut** bassin. Or, dans ce cas précis un même épisode pluvieux a affecté du 24 au 28 l'apresque totalité du bassin et la carte d'isohyètes correspondante révèle une répartition des aires de maxima et minima pluviométrique, typique d'un flux de SW. La zone la plus arrosée s'étire des Pyrénées de l'Aragon jusqu'au Sègre, épargnant seulement Cerdagne et haute Pallaresa; la zone la moins arrosée est celle située à l'abri du Système Ibérique. Effectivement, pendant toute cette période, une série de perturbations très actives a **circulé** sur l'Europe occidentale à l'intérieur d'un puissant flux de SW intéressant une zone s'étendant des Açores aux Baléares. Deux problèmes se posent alors : pourquoi ce flux a-t-il provoqué des pluies sur la zone cantabrique, sensible uniquement aux vents pluvieux de NW. Pourquoi la pluie s'est-elle déclenchée d'abord en amont alors que dans le cas de perturbations de SW, les vents pluvieux proviennent de la Méditerranée. La solution se trouve d'une part, au niveau du sol, dans l'allure des perturbations et la marche des fronts, d'autre part, dans la topographie isobarique à 500 mb. Au sol, on constate que le NW de la péninsule est affecté surtout par les fronts froids (et dans ce secteur, ce sont les plus actifs), de plus, on est en hiver,

644

Fig.77: CRUE de Janvier 1960



et un petit anticyclone thermique stationne sur la Meseta. Son influence a dû être très importante. Nous pensons qu'il a dû attirer vers le SE ce front froid et lui imprimer localement une trajectoire NW-SE. On retombe alors dans le schéma classique. D'autre part, jusqu'au 24 au soir, la vallée planétaire qui sert de lit à ces perturbations n'affecte que l'Ouest de la péninsule. Au-delà, les fronts perdent donc de leur virulence et la pluie est moins intense. A partir du 25, la translation vers l'Est de la vallée planétaire va rendre aux perturbations de SW leur efficacité habituelle au-dessus des Pyrénées, à cette différence près qu'on est en hiver, que les contrastes sont moins puissants donc les paroxysmes moins intenses, et que la rétention nivale a joué. En conséquence, les crues élémentaires ont été importantes certes, mais pas extraordinaires. C'est surtout à la concordance des flots que le maximum de Tortosa doit d'avoir atteint de pareils niveaux.

B - LES CRUES COMPLEXES : LES CRUES DE NOVEMBRE 1961 ET DECEMBRE

1959 -

Rappelons que nous entendons par là, les crues qui se présentent à Tortosa sous la forme d'une succession d'ondes pouvant ou non interférer, provenant de secteurs différents du bassin, et liées à des phénomènes météorologiques différents. Deux exemples permettront d'illustrer ce type :

1° / Les crues de novembre 1961 :

C'est par une triple crue de 2140, 2520 et 2950 m³/s que l'Ebre devait clore, en novembre 1961 la triste série de catastrophes

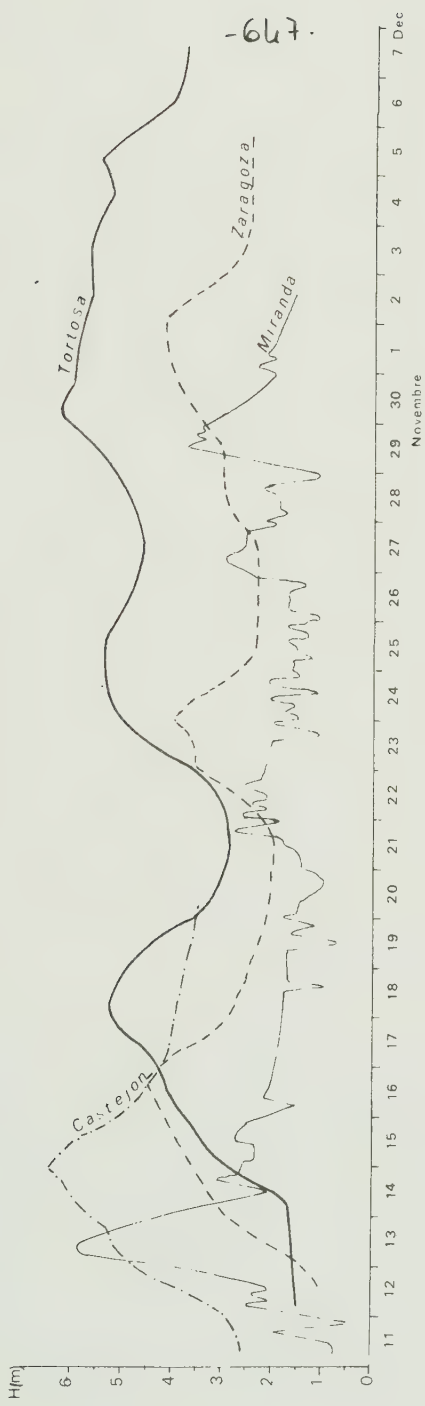
inaugurée en décembre 1959 la première de ces trois vagues (celle du 18 novembre à Miranda) eut son origine sur le haut bassin, du Nela à l'Araquil et à l'Arga supérieur. Elle eut pour cause un épisode pluvieux lié à un flux de NW5 typique qui dans la journée du 11 a dirigé à travers l'isthme pyrénéen, une dépression et sa perturbation associée. Un courant froid de NE succédant à cet épisode a abouti, après quelques jours, au creusement du large du Portugal, d'une dépression dynamique génératrice de perturbations. Ces perturbations empruntant la voie classique de Gibraltar, sont remontées en flux de SW à travers l'Espagne, et ont déclenché les 21-22 novembre une crue pyrénéenne assez extensive puisque on constate la participation du Jalon et du Guadalope. Situation qui s'explique par l'orientation prise momentanément le 22 par la perturbation responsable. La topographie isobarique locale a entraîné en effet une légère déviation de la perturbation en flux de SE.

Après une légère accalmie, le 28 la situation se complique. Au-dessus de la péninsule s'établit une circulation cyclonique coupée du courant général. Son flanc ouest attire alors vers l'Espagne les fronts froids des perturbations d'Ouest circulant au niveau des Iles Britanniques. Il pleut alors sur l'amont du bassin, tandis que le flanc est dirige au sol les perturbations de Gibraltar qui vont arroser les Pyrénées. Ces phénomènes étant activés par une goutte froide d'altitude, il s'ensuit une crue généralisée. On a donc en ce mois de novembre 1961, trois crues successives résultant de trois phénomènes bien individualisés que l'on peut résumer de la façon suivante :

1 - Du 13 au 18 : flux perturbé de NW5 déterminant une crue cantabrique,

2 - Du 21 au 22 : flux de SW déterminant une crue pyrénéenne

Fig. 78: CRUES de Novembre 1961



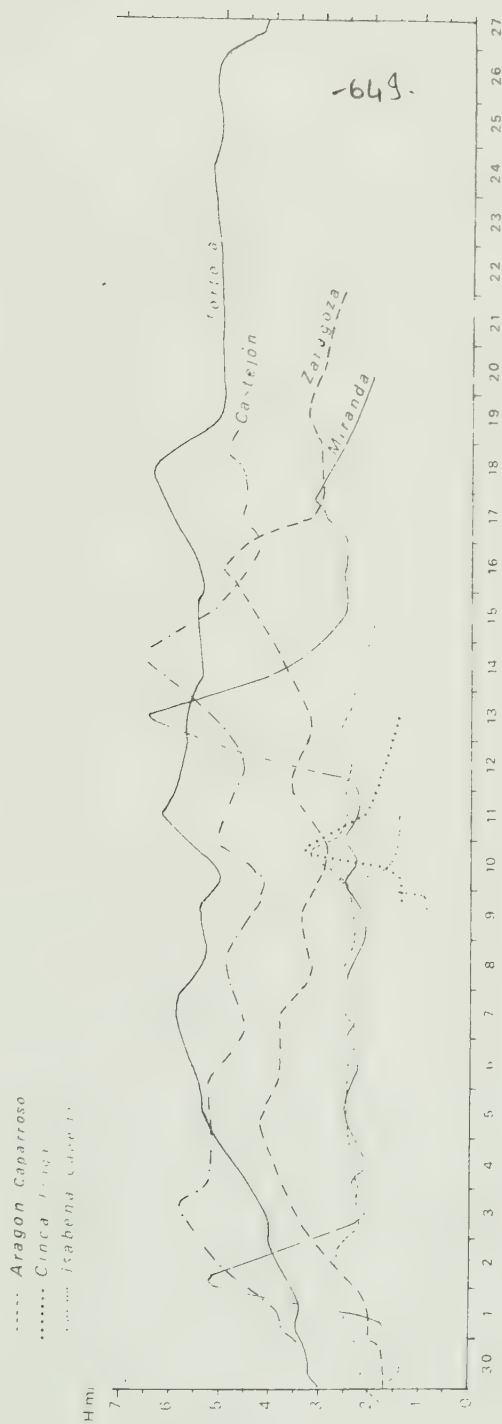
3 - Le 28 : double flux de NW à l'amont du bassin, de SW à SE ailleurs, entraînant une crue généralisée.

Ces trois épisodes juxtaposés ont donné à Tortosa une crue presque continue de 25 jours présentant 4 maxima principaux, la crue généralisée en ayant fourni 2 : un maximum d'origine pyrénéenne suivi d'un maximum d'origine cantabrique. Au total, quelques 4230 hm³ d'eau sont passés sous les ponts de Tortosa.

2°/ En décembre 1959 : la succession des régimes perturbés fut un peu différente. Il convient de présenter rapidement cette crue tout à fait exceptionnelle non seulement par les débits de pointe enregistrés (2700, 3060, 3000 m³/s), mais surtout par le volume total de l'intumescence, le plus fort enregistré depuis l'année exceptionnelle de 1915, et par la longueur du phénomène. A Tortosa, l'Ebre est resté en crue 34 jours du 30 novembre au 2 janvier ! Pendant 27 jours pratiquement consécutifs les débits sont restés supérieurs à 2000 m³ (une seule interruption de quelques heures le 27-28 au cours de laquelle la courbe s'est creusée jusqu'à 15000 m³/s). Cette persistance tout à fait extraordinaire des hautes eaux est due en réalité à trois crues distinctes mais très rapprochées.

a) une crue cantabrique, du 1er au 3 décembre, consécutive au passage d'une dépression et de sa perturbation associée, le long de l'axe golfe de Gascogne Méditerranée, dans la nuit du 30 novembre au 1er décembre. Les véritables responsables de la crue furent les vents de NW qui ont soufflé en bourrasque à l'arrière du front froid, un front rendu plus actif par la présence d'une goutte froide d'altitude.

Fig.79. CRUES de Décembre 1959



Sur ces rivières courtes du bassin amont, la concentration des eaux s'est faite rapidement. A Miranda la crue s'amorce le 1^{er} à 6 h du matin. La cote maximale : 5,40 m soit 1048 m³/s est atteinte le 2 à 6 h. Mais cette crue très pointue passe rapidement et le 3 vers 6 h on retrouve une hauteur presque normale. La montée a duré 24 h, la décrue 24 h. Quant au maximum, bien soutenu par une pluie assez extensive (la perturbation s'est ravivée en Méditerranée), il devait passer à Tortosa le 7 à midi, soit après 5 jours et 6 heures de parcours.

b) Tandis que les eaux commencent à baisser sur l'Ebre inférieur une nouvelle crise se prépare. Une dépression atlantique che-minant W-E entre les 40-45ème parallèles, aborde l'Ouest de la péninsule le 9 au matin. Son activité se trouve renforcée par une invasion d'air arctique tandis qu'elle vient se localiser dans le golfe de Gascogne. La perturbation qui circule du SE au NE sur son flanc oriental va rapidement balayer la péninsule dans la nuit du 9 au 10 en s'occluant progressivement de sorte que c'est un front occlus qui va intéresser la zone pyrénéenne. Il est accompagné de vents de SE à fort potentiel hygrométrique. La position légèrement oblique du front par rapport au relief, explique que le haut Aragon et le Gallego aient été touchés les premiers, le 9, le Cinca et le Sègre le 10. Une quinzaine d'heures après le passage du maximum du Cinca à Fraga, le limnigramme de Tortosa accusait ces événements par une pointe à 6,20 m. Le débit correspondant : 3060 m³/s représente beaucoup plus que cette crue pyrénéenne qui fut importante, certes, mais pas extraordinaire. C'est que l'Ebre, mal remis de sa crise précédente, roulait encore un peu plus de 2000 m³/s lorsque les Pyrénées sont entrées en jeu.

c - Le troisième et dernier épisode de cette crue s'est déroulé du 12 au 18 décembre. La dépression responsable des événements précédents est passée du golfe de Gascogne à la Méditerranée dans la nuit du 11 au 12 décembre, accompagnée d'une perturbation active. Les vents qui étaient restés orientés SW-NE ou SE-NW pendant la période de stationnement de la dépression dans le golfe de Gascogne tournent alors au N-NW en arrière de la dépression et frappent de plein fouet la Cordillère Cantabrique. On retrouve alors la situation du début du mois et une deuxième crue cantabrique se déclenche alors. Ainsi se sont succédées trois crises :

- une crise cantabrique du 1 au 3 décembre provoquée par un flux de NW5.

- une crise pyrénéenne du 9 au 11 décembre provoquée par un flux de SW.

- une crise cantabrique les 12 et 13 décembre provoquée par un flux de NW5.

C - CARACTERES GENERAUX DE CES CRUES -

1°/ Conditions météorologiques :

En ce qui concerne les crues généralisées simples, on constate que seuls les flux de secteur sud, plus précisément S ou SW, sont susceptibles de faire réagir l'ensemble des rivières car les vents méditerranéens qu'ils attirent ont une aire d'influence beaucoup plus vaste que les vents océaniques de NW déterminés par les perturbations d'W ou NW. Ceux-ci en effet acquièrent très vite un caractère de foehn

en descendant sur le versant méditerranéen. De plus, dans le cas de perturbations de SW, la généralisation de la crue est due en réalité à l'association de deux crises : l'une pyrénéenne, provoquée par les vents de SE méditerranéens, l'autre cantabrique liée à l'afflux de masses d'air océaniques en arrière du front froid.

Enfin certaines crues généralisées ont pour origine deux flux opposés fonctionnant en même temps de part et d'autre d'une vallée planétaire axée sur la Péninsule Ibérique. Sur le flanc occidental circule un flux de NW générateur de pluies intenses à l'amont du bassin, tandis qu'un flux de SW remonte le long du flanc oriental déterminant des averses sur la partie médiane et inférieure du bassin. Ce processus forme en quelque sorte une transition avec les processus générateurs de ce que nous avons appelé les "crues complexes".

Les crues complexes sont dues en effet non plus à un seul flux perturbé, mais à une succession de flux étroitement liés aux translations en altitude des crêtes et vallées planétaires.

2° / Caractères hydrologiques :

Dans le premier cas, l'hydrogramme de Tortosa présente une seule grosse intumescence accidentée de plusieurs pointes dues à la discordance entre les flots de l'Aragon, de l'Ebre supérieur et du Segre-Cinca.

Dans le cas de crues complexes, les flux successifs déterminent des crises qui restent localisées dans tel ou tel secteur du bassin. Mais le rapprochement dans le temps des crues élémentaires entraîne, au niveau de Tortosa des hautes eaux durables. L'hydrogramme est

alors toujours complexe et varié selon les modes de concordance : les ondes élémentaires sont plus ou moins séparées et l'on peut avoir davantage ou au contraire moins de pointes que de crues élémentaires.

Davantage si une crue généralisée s'intercale dans la série. On sait que ces phénomènes donnent le plus souvent deux maxima, l'un d'origine pyrénéenne, l'autre d'origine cantabrique. On a moins de pointes que d'ondes élémentaires, dans le cas - assez rare il est vrai - de concordances étroites.

CONCLUSION

De cette étude des crues de l'Ebre, nous retiendrons en conclusion trois caractères qui nous paraissent essentiels :

- Leur fréquence relativement importante.
- La diversité de leur origine et de leur mode d'évolution.
- Leur puissance, étonnamment modérée pour un organisme méditerranéen

- En ce qui concerne la fréquence, nous avons constaté que les crues ordinaires se produisaient, sur le fleuve lui-même, deux fois et demi à trois fois par an, le maximum étant enregistré dans le bassin moyen. Les crues extraordinaires, supérieures à 2000 m³/s à Saragosse et 21000 m³/s à Tortosa sont des phénomènes presque annuels. Cette fréquence relativement importante est liée en particulier à la variété des domaines hydrologiques capables d'entrer en crise et de communiquer au fleuve leurs soubresauts. Cette variété est encore responsable du deuxième caractère mis en évidence ci-dessus :

- La diversité des crues de l'Ebre. Nous avons vu en effet que le cours moyen et inférieur de l'Ebre pouvait connaître :

- Des crues d'hiver, d'origine cantabrique ou pyrénéo-
cantabrique ce sont les plus fréquentes. Elles se constituent le plus

souvent en amont d'une ligne Iregua-Aragon-Veral et résultent généralement de flux perturbés de NW5 pour les premières, de SW pour les phénomènes ouest-pyrénéens. Dans tous les cas, étant donné la saison, la neige joue un rôle important. Ces crues sont volumineuses, étalées sur plusieurs jours, et d'évolution relativement lente. Depuis 1937, ce sont elles qui ont apporté les plus forts débits enregistrés non seulement à Saragosse mais aussi à Tortosa. Lors de ces événements, les maxima sur le fleuve sont souvent enregistrés dès Castejon. Vers l'aval, la crue a tendance à s'étaler, sauf dans le cas où elle est soutenue par les affluents est-pyrénéens.

- Les crues d'automne de l'Ebre sont essentiellement des crues méditerranéennes et de bassin inférieur. Ce sont les plus violentes, les plus rapides, les plus pointues. Elles se caractérisent par des maxima élevés mais des volumes globaux modérés. Elles résultent en effet d'averses méditerranéennes violentes et courtes, survenant après la grande sécheresse estivale, et qui ruissellent rapidement. Elles sont responsables des plus grandes catastrophes du passé dans la région de Tortosa. Aujourd'hui, la multiplication des barrages, en particulier sur le Sègre et le Cinca, a considérablement atténué leur violence. Ces crues n'en restent pas moins les seules qui, par leurs caractères se rattachent pleinement au domaine méditerranéen.

- L'Ebre peut encore être agité par quelques soubresauts printaniers soit au début du printemps (mars), au moment où passent à nouveau les perturbations de Gibraltar qui gonflent les rivières est-pyrénéennes, soit à la fin du printemps (mai-juin) où éclatent sur tout le bassin moyen, de la Cordillère Ibérique aux hautes vallées pyrénéennes, les premiers orages de saison chaude.

- Bien que très rares et moins puissantes, les crues d'été ne sont pas exclues. Elles résultent le plus souvent d'orages violents qui éclatent sur la montagne pyrénéenne, et qui peuvent entraîner localement des inondations catastrophiques comme celles de la Ribagorzana en août 1963. L'Ebre ne répercute ces phénomènes que sous la forme de poussées éphémères et sans gravité. Les événements d'août 1963 ont donné à Tortosa une onde de 1650 m³/s seulement

- La relative modération de ces crues ressort de l'étude du coefficient A. Cependant une double distinction doit être faite, entre le fleuve et ses affluents d'une part, d'autre part entre l'Ebre aménagé et non aménagé.

Depuis les grands travaux, l'Ebre inférieur se présente comme un fleuve étonnamment modéré dans ses excès. La crue maximale de la période 1940-1974 n'a donné que 4580 m³/s et une valeur de 16 pour le coefficient A. En France, des coefficients aussi faibles ne se trouvent guère que dans le bassin de la Seine, ou sur des rivières océaniques de plaine (Maine par exemple). Par contre, l'Ebre a connu, avant l'ère des grands barrages, des crises assez spectaculaires comme celles de 1907 et 1937 évaluées à 10000 m³/s, soit pour A une valeur de 35. Ce chiffre place le grand fleuve du N de l'Espagne dans le concert des organismes du SW européen de taille comparable. Dans l'intervalle 35-40 pour les valeurs de A, nous trouvons en effet le Pô, le Rhône à Beaucaire, le Tage à Santarém ; la Garonne à Tonneins approche de ces chiffres. Par contre le Douro et surtout la Garonne à Toulouse se tiennent bien au-dessus (40 à 49 pour le Douro, 70 à 75 pour la Garonne).

Le fait le plus étonnant qui ressort de cette étude, c'est

la faiblesse - toute relative bien sûr - des paroxysmes, sur les petits bassins du versant méditerranéen. Rien de comparable ici aux cataclysmes cévenols ou roussillonnais. Citons un exemple qui donne la mesure de cette discordance : lors de la crue d'octobre 1940, le Tech a roulé 3400 m³/s à l'issue de 342 km² de B.V. soit $A = 175$! La crue maximale du Sègre voisin n'a pas dépassé à Puigcerda et pour une surface comparable, 150 m³/s et 8,7 pour le coefficient A. Certes sur le Flamisell en 1937, sur la haute Ribagorzana en 1963, des ondes dévastatrices de 1000 m³/s ont pu se constituer, mais elles n'ont donné pour A que 52 et 59 respectivement. La différence de comportement résulte de l'exposition, par rapport aux vents pluvieux, et aussi nous semble-t-il du fait que les gouttes froides d'altitude qui fréquentent ces parages vont plutôt échouer au voisinage de la côte entre Barcelone et Valence. C'est donc là, sur les torrents qui descendent des cordillères littorales qu'il faudrait aller chercher des éléments de comparaison.

Q U A T R I E M E P A R T I E

S E C H E R E S S E S E T E T I A G E S

L'originalité climatique du bassin de l'Ebre réside moins dans la torrencialité, généralement si caractéristique du milieu méditerranéen - mais tempérée ici par l'influence océanique d'amont et la continentalité de la dépression centrale - que dans la sécheresse : une sécheresse implacable, qui sévit sur de vastes secteurs du bassin moyen et inférieur, faisant peser sur les rivières comme sur la vie des hommes, une lourde hypothèque. Cette sécheresse, nous en étudierons d'abord l'aspect hydrologique, à savoir les étiages. Nous chercherons ensuite une explication à ces étiages dans la faiblesse des pluies d'une part et d'autre part l'importance des prélèvements de toutes sortes, naturels et artificiels, sous la forme d'évapotranspiration et d'utilisations agricoles.

xxxxxxx

CHAPITRE I

LA GRAVITE DES ETIAGES

INTRODUCTION : DEFINITIONS ET MODES D'EXPRESSION DES ETIAGES -

Si la notion de crue est claire et sans ambiguïté, il n'en est pas de même pour celle d'étiage qui comporte parfois un certain flou. C'est pourquoi il convient de préciser ce que nous entendons par étiage, ainsi que les modes d'expression de ces étiages qui nous ont paru le plus suggestifs.

Les étiages sont aux basses eaux ordinaires ce que les crues sont aux hautes eaux, c'est à dire, des épisodes de crise hydrologique pouvant se produire au cours de ces basses eaux ordinaires ou en dehors de ces périodes. Il s'agit donc comme pour les crues de phénomènes exceptionnels. Mais à la différence des crues, ces étiages présentent moins de fantaisie dans la date d'apparition, et surtout moins de brutalité dans leur déroulement. Comme pour les crues, nous ferons un sort au phénomène minimal observé sur notre bassin depuis 1913-14, c'est à

dire depuis l'époque où le réseau d'observation a commencé à être mis en place, puis nous étudierons les épisodes de basses eaux sur le collecteur principal.

Pour caractériser ces étiages, plusieurs modes d'expression ont été utilisés ici :

- l'étiage minimum absolu ou minimum minimorum des années étudiées. Il est exprimé en m^3/s et $l/s/km^2$. A la différence des crues, ce n'est pas un débit instantané qui est donné - il n'aurait ici aucun sens à cause de l'évolution très lente du phénomène -, mais une moyenne journalière.

- l'étude statistique de l'étiage annuel (plus faible débit de chacune des années) est fondée sur la notion de $Q_m(10)$ et de $Q_m(20)$, c'est à dire du plus faible débit moyen observé pendant 10 jours puis 20 jours consécutifs. Ce débit est calculé par la méthode des moyennes mobiles et exprimé en m^3/s .

- enfin, nous avons parfois utilisé la notion de DCE, c'est à dire le débit dépassé pendant 355 jours par an, bien que cette expression ne corresponde pas tout à fait à nos perspectives, puisque nous cherchons à nous situer au niveau du phénomène individuel. Toutefois, étant donné que les étiages prennent généralement des valeurs moins contrastées que les crues, nous avons jugé utile de ne point négliger une expression qui peut donner une idée globale et rapide du phénomène qui nous occupe. De plus, comme il s'agit là d'une notion classique, on peut trouver sur d'autres rivières des éléments de comparaison, les DCE ayant été souvent déterminés.

SECTION I - LES ETIAGES SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU AFFLUENT -

A - LA PROFONDEUR DE L'ETIAGE MINIMUM -

Comme le faisaient prévoir l'étude des éléments du climat ainsi que celle du bilan de l'eau des sols, tous les étés, la plupart des sources de la dépression médiane et même des piémonts, s'assèchent, et de nombreuses rivières ainsi privées d'alimentation, soumises à une intense évaporation et à des saignées intempestives de la part de l'homme, cessent de couler. La carte de l'étiage le plus grave enregistré depuis 1913 (cf. fig. LIII H.T.) montre que, en dehors des grandes rivières allogènes, toute la partie centrale et inférieure du bassin, de Logrono à la mer, est susceptible de connaître un véritable régime aréïque en ce sens que tout écoulement superficiel peut disparaître pendant un temps plus ou moins long. C'est dans la région de Saragosse et sur l'interfluve Gallego-Cinca, c'est à dire essentiellement dans les Monegros, que la situation est la plus grave. Dans ce secteur, seuls les orages estivaux assez graves pour réussir à imprégner la totalité des couches imperméables superficielles, peuvent entraîner un écoulement spasmodique et la "sortie" des "barrancos" incisés dans les "muelas". Ainsi nombre de petits organismes font ici figure de véritables "oueds" dans ce milieu que les paysages morphologiques et végétaux et l'ambiance climatique rattachent on l'a vu au domaine semi-aride. Autour de cette aire de sécheresse maximum, les piémonts ibérique et pyrénéen, ainsi que le versant méditerranéen, connaissent une sécheresse un peu moins sévère et surtout moins longue et moins régulière. Si

les petits affluents de l'Ebre inférieur : Ciurana, Monsant, ainsi que les tributaires de rive gauche du Sègre ont encore un régime de ravin torrentiel plus ou moins intermittent, l'assèchement total est déjà un phénomène un peu plus rare sur les affluents subpyrénéens comme l'Arba et l'Alcanadre. Pourtant, en l'absence de soutien nival en amont, les pompages à usage agricole et l'intense évaporation à laquelle ils sont soumis dès qu'ils abordent la Dépression Centrale dans laquelle s'étire la majeure partie de leur cours, arrivent à boire, dans les cas les plus graves, jusqu'à la dernière goutte d'eau. Il en est de même pour la série des petites rivières qui drainent la Cordillère Ibérique entre Najerilla et Jalon. Perennes à l'amont, ces organismes peuvent être saignés à blanc à leur débouché sur le piémont, lors des étés les plus difficiles, et arriver ainsi à sec dans les plaines de la Rioja.

Mais il y a plus étonnant encore et plus grave que l'assèchement de ces organismes, malgré tout secondaires : c'est la possible interruption de tout écoulement à l'aval des grands affluents, y compris les grands collecteurs pyrénéens. Depuis 1912, ce phénomène a été observé deux fois sur l'Aragon inférieur : en août 1926 et juillet 1949. Trois fois le Sègre lui-même a cessé de couler au pied de Lérida : en décembre 1916, janvier 1918 et avril 1957. Et le Gallego ne se comporte pas autrement. Nous savons qu'une fois au moins dans la période étudiée, en août 1929, les habitants d'Ardisa ont pu voir le fond de son lit. De la même façon, le Jalon et le Guadalope ont connu respectivement en août 1914 et août 1917 des épisodes d'assèchement total, affectant d'ailleurs ici la quasi totalité du bassin pour le Guadalope, épargnant seulement dans le bassin du Jalon, les rivières karstiques dont on parlera plus loin.

Finalement, trois catégories de rivières seulement ne connaissent pratiquement pas l'assèchement. Ce sont d'abord les rivières issues de la haute montagne pyrénéenne ou cantabrique, accessoirement des secteurs les plus élevés du Système Ibérique, les rivières de régions fortement kartifiées, et enfin, en apparence au moins, les grands col-lecteurs pyrénéens depuis que la multiplication des barrages leur a assuré un écoulement plus régulier. En effet, tous les cas d'assèchement que nous avons constatés sont antérieurs à la mise en eau des grands barrages. Cependant, nous continuerons à faire des réserves sur la pérennité de ces rivières aménagées. De graves sécheresses semblables à celles des années 1948-49 pourraient bien sur certains tronçons au moins, entraîner l'arrêt momentané de tout écoulement.

- C'est dans le secteur pyrénéen, plus spécialement du haut Gallego au parc d'Aigues Tortes que l'on observe les étiages les plus abondants ; près de 7 l/s/km² sur l'Esera à l'issue de 300 km² de bassin versant, et peut-être arrive-t-on à 10 litres un peu plus haut. Mais contrairement à ce qui se passe pour les modules spécifiques, les débits spécifiques d'étiage doivent dans ce domaine passer par un maximum et s'amortir ensuite en voisinage des sources avec l'altitude qui commande la rétention nivale et le gel hivernal des cours d'eau ; car nous sommes ici, comme on le verra, dans la zone des étiages d'hiver. Mais quoi qu'il en soit, c'est au niveau des plus hautes stations pyrénéennes qu'ont été observées les plus fortes valeurs relatives que l'on puisse trouver pour ce phénomène dans le bassin de l'Ebre. Ainsi, les 1,25 m³/s de l'Esera à Villanova représentent 10,5 % du module ! Rappelons qu'il s'agit de la valeur minimale observée depuis 1915. Les chiffres correspondants sont un peu plus faibles sur les Nogueras Ribagor-

zana et Pallaresa : 5 % et 4 % respectivement mais certainement d'un ordre de grandeur semblable sur le haut Cinca. Tandis que le record appartient au cours supérieur du rio Ara, au niveau de Torla où l'étiage de 1,42 m³/s représente 14 % du module! Il faut certainement voir là le rôle conjugué de la neige et des puissantes masses calcaires du cirque d'Ordessa auxquelles s'adosse du côté français le cirque de Gavarnie. Il ne faut pas oublier non plus que nous ne possédons pour cette station que 9 années d'observation, et qu'une plus longue série changerait peut-être sensiblement les résultats. A vrai dire, tout dépend ici de l'importance des phénomènes karstiques de la région d'Ordessa, lesquels sont encore mal connus. Plus bas, s'étend une zone où la valeur la plus faible d'écoulement est comprise entre 1 et 5 l/s/km². Cette zone s'étend du haut Aragon jusqu'au Sègre mais, très étroite au départ, elle s'épanouit en même temps que la montagne pyrénéenne au niveau du Cinca et des Nogueras. Les chiffres les plus remarquables se situent ici sur le Cinca à Ainsa avec un débit minimum de 3,7 l/s/km², représentant 9 % du module, et sur l'Esera à Villanova : 6,8 l/s/km² et 10 % du module. C'est donc la haute et moyenne montagne pyrénéenne qui, par l'intermédiaire de ses grands collecteurs, contribue le plus efficacement à soutenir les débits estivaux du fleuve, et ceci d'autant plus que, on le verra plus loin, les étiages de ce secteur ne concordent pas toujours avec ceux de l'Ebre, en particulier dans la zone la plus élevée où ils sont même en complète discordance.

Au-delà d'un hiatus entre Veral et haut Arga, où les Pyrénées s'inclinent rapidement vers l'Atlantique, les chaînes cantabriques rétablissent des étiages un peu moins chétifs. Mais en l'absence de soutien nival, les débits minima restent faibles. Ni les puissantes mas-

ses de grès ou de calcaire incorporées au bâti montagneux, ni le régime pluviométrique, un peu moins indigent que sur le reste du bassin - exception faite des Pyrénées -, ne parviennent à jouer un rôle comparable à celui des neiges pyrénéennes. Aussi les étiages se tiennent-ils à des niveaux plus modestes : 0,2 à 0,6 l/s/km².

Ce sont des valeurs semblables que l'on trouve encore dans un troisième élément de cette ceinture montagneuse, le Système Ibérique où les cours supérieurs du Najerilla, Iregua, Cidacos, Alhama, écoulent respectivement 0,5, 0,5, 0,04 et 0,4 l/s/km². En dehors de la zone la plus montagneuse du bassin, où la part de l'influence nivale, voire glaciaire, module les valeurs des étiages, deux autres domaines ont attiré notre attention :

- Le domaine des rivières karstiques De nombreuses rivières doivent à la présence dans leur bassin d'étendues calcaires ou gréseuses plus ou moins importantes, de ne point s'assécher en été. C'est le cas du Martin dont le cours moyen traverse les sierras calcaires de Arlos et du secteur d'Alcaine, du rio Ega dont on a vu en 1953 le cours supérieur et le principal affluent, l'Urederra, s'assécher complètement, tandis qu'à Estella, la rivière écoulait 0,8 l/s/km² fournis par quelques sources perennes du Sud du massif d'Urbasa. Le recensement des sources karstiques du bassin et la détermination de leur régime est encore à faire. Il serait d'un très grand intérêt pour l'étude des étiages de nombreuses rivières. Mais l'exemple le plus spectaculaire nous est fourni dans ce domaine par cette petite rivière du bassin moyen du Jalon : le Piedra dont on a déjà remarqué l'étonnante pondération. Malgré un régime pluviométrique très sévère résultant

de l'aggravation par la continentalité, du tempérament méditerranéen, elle connaît des étiages d'une surprenante abondance : le minimum enregistré à la station de Monasterio de Piedra en août 1929, soit 0,9 m³/s ou 1 l/s/km² représente 41 % du module ! Or il s'agit là d'un phénomène exceptionnel, les minima de la période étudiée se situant dans une fourchette de 65 à 75 % du module ! C'est là, et de loin, le record du bassin. Ce comportement doit être rapproché de celui des rivières citées par M. Pardé comme parmi les plus pondérées du monde et présentant en valeur relative - débit spécifique et coefficient de débit - les étiages les plus abondants. Ainsi le Khabour, fleuve de Syrie dont le minimum minimorum, évalué par M. Pardé représenterait 80 % du module, la Nera, affluent oriental du Tibre, venue du haut Apennin calcaire et sa voisine l'Aniène dont les minima absolus valent respectivement 8 ou 9 et 9 ou 10 l/s/km². Hors du monde méditerranéen, des valeurs comparables à celles du Piedra se trouvent sous différents climats, mais toujours dans les mêmes types de milieux lithologiques : dans les grès des plateaux Batéké par exemple où coulent la Léfini et l'Alima affluant respectivement 29, 8 l/s/km² et 88 % du module pour la première, 23,5 l/s/km² et 83 % du module pour la seconde, dans les masses de basalte de l'Ouest des Etats Unis où se glisse la Columbia.

Le Piedra appartient donc à cette grande famille de rivières dont les étiages surabondants sont alimentés par d'importantes réserves souterraines accumulées dans des roches poreuses ou finement fissurées - grès, calcaires, basaltes - et capables de jouer le rôle d'éponge. Voisin et tributaire du Piedra, le Mesa se comporte de façon comparable bien que sa pondération soit beaucoup moins spectaculaire. Ces deux rivières jouent, à l'échelle locale, un rôle important. Elles contribuent

à ranimer le Jalon sur quelques kilomètres au moins avant qu'il ne s'épuise à nouveau au droit de Catatayud où une fois au moins au cours de ce siècle, on l'a vu s'assécher complètement.

Bien alimentées à l'amont, les grandes rivières allogènes ne sont pas elles aussi, généralement, à échapper au sort des autres cours d'eau de la Dépression Centrale. Il faut rappeler ici que l'époque où évaporation et irrigation pèsent le plus lourdement sur le budget de la rivière, est en discordance totale avec celle de la rétention nivale, donc des étiages les plus graves d'amont. Jusqu'au coeur de l'été, la fusion des névés apporte à ces rivières des subsides fort appréciables en cette période de pénurie. Il faut ajouter à cela le rôle, à vrai dire parfois contradictoire, des bassins de retenue qui étalent vers l'été les hautes eaux printanières. Mais ce supplément artificiel est destiné à être en partie ou en totalité consommé par les irrigations. De sorte que, selon les besoins de cette irrigation et selon le lieu d'observation - en aval de la retenue ou de la prise d'eau, ou en aval du canal de retour - les étiages peuvent être gonflés ou aggravés.

Dans l'ensemble, la combinaison de ces influences donne à l'aval des grandes rivières des étiages particulièrement déprimés pour des organismes de cette importance.

Ainsi comme on l'a déjà signalé, l'Aragon s'est asséché en juillet 1949 et s'est encore retrouvé bien près de cette extrémité en 1950 et 1951. Le Gallego, avant sa régularisation, le Sègre à Lérida, ont connu les mêmes déboires. Depuis 1929, le Gallego ne s'est plus asséché, mais son minimum s'est abaissé à 0,9 m³/s soit 2 % du module, le minimum connu du Sègre à Seros représente 2,7 % du module, celui du

Cinca à Fraga : 0,25 % ! Il est vrai que ce sont là des records absolus. Il convient de préciser, pour chacun de ces affluents comment évoluent ces étiages, à la fois dans l'espace et dans le temps.

Issu de montagnes moins élevées, donc moins longtemps enneigées, l'Aragon apparaît défavorisé par rapport à ses voisins pyrénéens plus orientaux. D'abord, l'Aragon supérieur n'a qu'un très court trajet montagnard. Au bout de quelques dizaines de kilomètres seulement, il entre dans la "Canal de Berdun" où il doit affronter l'aridité aragonaise, une aridité qui ne cesse de s'accroître vers la Dépression Centrale, tandis que s'aggravent les pertes par évaporation, infiltration et pompages. Or le soutien apporté par les affluents du cours moyen reste assez précaire en période de forte sécheresse comme celle qui a sévi lors de l'été 1955 dans cette région. En effet, l'Esca supérieur, le Salazar, le rio Erro sont susceptibles de s'assécher. Seuls l'Aragon Subordan (0,9 l/s/km² en 1962) et l'Iratí (0,5 m³/s et 0,2 l/s/km² en août 1955) sont capables de soutenir quelque peu les étiages du grand collecteur des Pyrénées occidentales. Mais au-delà des derniers chaînons des Sierras Extérieures, la traversée des Bardenas est une pénible épreuve que l'Aragon n'a pas toujours affrontée avec succès. Par contre le dernier tronçon alimenté par l'Arga au tempérament déjà beaucoup plus vasco-cantabrique que pyrénéen semble bien ne jamais avoir atteint de pareilles extrémités. Notons enfin que le régime des étiages sur la moitié inférieure de l'Aragon semble avoir été sensiblement modifié depuis 1958-59, c'est à dire la construction de la retenue de Yesa. Le graphique des étiages annuels (cf. fig. 80) se redresse en effet très nettement à partir de cette date. La présence d'une série humide de 1959 à 1963 n'est pas seule responsable puisque, par la suite, les

sécheresses de 1964 et 1967 n'ont point ramené la courbe à son niveau primitif. Il semble que les étiages du Gallego inférieur aient été modifiés dans le même sens, mais depuis une époque beaucoup plus ancienne. En effet, depuis l'été 1929, la rivière ne s'est plus jamais retrouvée à sec, même pas lors des terribles sécheresses des années 1948-49 et 1949-50 qui épuisèrent bon nombre de cours d'eau espagnols... voire ouest européens ! Or, 1929, c'est l'année de la mise en eau du bassin d'Ardisa qui joue pour le Gallego inférieur un rôle comparable à celui du bassin de Yesa pour l'Aragon. On remarquera de plus que, pour un module qui ne représente que 58 % de celui de l'Aragon, les étiages du Gallego à Ardisa et de l'Aragon à Caparrosso sont très voisins jusque vers 1960-61 c'est à dire peu après la construction du barrage de Yesa. Depuis cette date, le rapport des étiages de ces deux rivières a retrouvé le rapport des modules, tandis que les valeurs de ces basses eaux continuent à évoluer dans le même sens. A vrai dire, les stations évoquées ne sont pas tout à fait comparables puisque l'une d'elle est située tout près du confluent, et l'autre, beaucoup plus en amont, à la sortie du bassin de régulation. Une station proche de la confluence du Gallego ferait ressortir très certainement une nette infériorité des étiages de cette rivière.

Bien que jouissant à l'amont de la meilleure alimentation nivale, le Cinca inférieur n'est guère mieux pourvu en période d'étiage. Sans doute, contrairement à ses voisins, ne l'a-t-on jamais vu s'assécher totalement, mais les 0,2 m³/s passés sous le pont de Fraga en août 1950 ne représentent que 0,25 % du module ! Il est vrai qu'à cette date, les bassins de el Grado et Mediano n'étaient pas encore construits. Leur mise en service récente (1966 et 1967) semble avoir

eu les mêmes effets bénéfiques que sur les rivières déjà étudiées car, depuis cette époque, on voit les minima se tenir à des niveaux plus élevés. Mais le temps d'observation est encore trop court pour que nous puissions tirer des conclusions définitives.

La situation sur le Sègre est complexe et irrégulière si on en juge par le graphique des minima enregistrés depuis 1948-49. Dans un bassin aussi puissamment aménagé, il est difficile de faire la part de la nature et la part des hommes dans l'explication des phénomènes hydrologiques, d'autant plus que ces aménagements sont anciens et par conséquent la comparaison avec la situation antérieure, pratiquement impossible. L'examen de la carte des minima absolus permet toutefois un certain nombre de remarques:

Dès l'amont les valeurs enregistrées sont tout à fait misérables : 0,1 m³/s à Puigcerda, soit 0,3 l/s/km². Depuis le haut-Aragon, c'est la valeur la plus faible rencontrée sur un bassin de moins de 3000 km² de surface. La traversée de la Cerdagne constitue une première épreuve pour cette rivière pauvre en névés, donc mal alimentée à l'époque où les prélèvements pour l'irrigation grèvent très tôt, dès Puigcerda, le budget de la rivière. Aussi, à l'issue du cours supérieur, à la Seo, l'étiage le plus creusé n'est plus que de 0,03 m³/s. L'apport des Valiras au bassin un peu plus enneigé redonne alors quelque vigueur à la rivière épuisée. La petite rivière de la Vansa qui circule dans une région karstique doit elle aussi contribuer à ce renouveau, de sorte que le bassin d'Oliana n'a jamais reçu à notre connaissance, de débit inférieur aux 3,1 m³/s enregistrés en janvier 1957. A la sortie du bassin, l'écoulement peut être artificiellement interrompu dans la

rivière, en particulier au printemps lorsque les vannes sont fermées pour permettre la reconstitution de la réserve. Jusqu'à la confluence de la Pallaresa, les minima restent très bas - 0,1 m³/s à Alos de Balaquer -, d'autant que le canal d'Urgel prélève au niveau de Pons, pendant sa période de fonctionnement, 15 à 20 m³/s. L'arrivée de la Pallaresa fait remonter le minimum à 3,5 m³/s, chiffre enregistré encore au printemps car en été il faut assurer l'alimentation du canal auxiliaire d'Urgel qui absorbe de 4 à 8 m³/s. On laisse donc alors s'écouler l'eau des barrages ce qui assure à la rivière un débit un peu plus fort. Malgré l'arrivée de la Ribagorçana à quelques kilomètres en amont de Lérida, le Sègre peut s'assécher au droit de cette ville. On a là d'ailleurs, le seul tronçon de cette longue rivière qui, à notre connaissance soit capable d'en arriver à de pareilles extrémités. Ce phénomène, nous l'avons relevé deux fois depuis le début du siècle : en décembre 1916 et avril 1957. L'épuisement des débits en 1916 a eu des causes toutes naturelles puisque les grands barrages n'étaient pas encore construits à cette époque. De plus, nous avons établi que cette année là avait été, sur le versant méditerranéen du bassin une des plus sèches du siècle. On sait d'autre part, que, dans la cuvette de Lérida et une partie du bassin du Sègre, en particulier la Cerdagne, l'hiver est la saison la moins arrosée. Si l'on ajoute l'effet de la rétention nivale, en amont, on comprendra qu'il ait suffi d'un automne déficitaire survenant après un été un peu plus chaud et un peu plus sec que la normale pour provoquer ce minimum hivernal. L'assèchement d'avril 1957 doit être par contre d'origine technique tout comme les minima que l'on observe aujourd'hui fréquemment en avril ou mai à l'aval des grands barrages pyrénéens. Peu après Lérida, le retour des canaux d'Urgel et la Pinada rapporte

-673-



Fig. 80: LES ETIAGES

DES AFFLUENTS DE L'EBRE

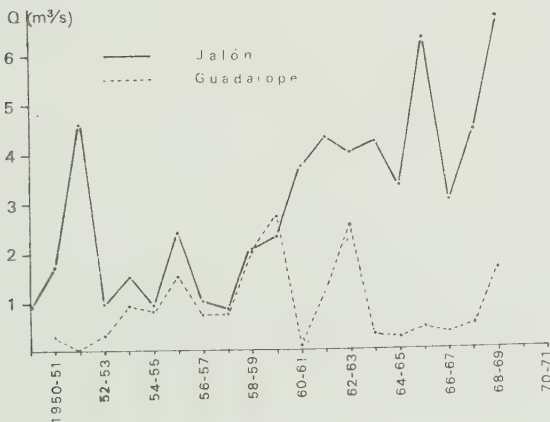
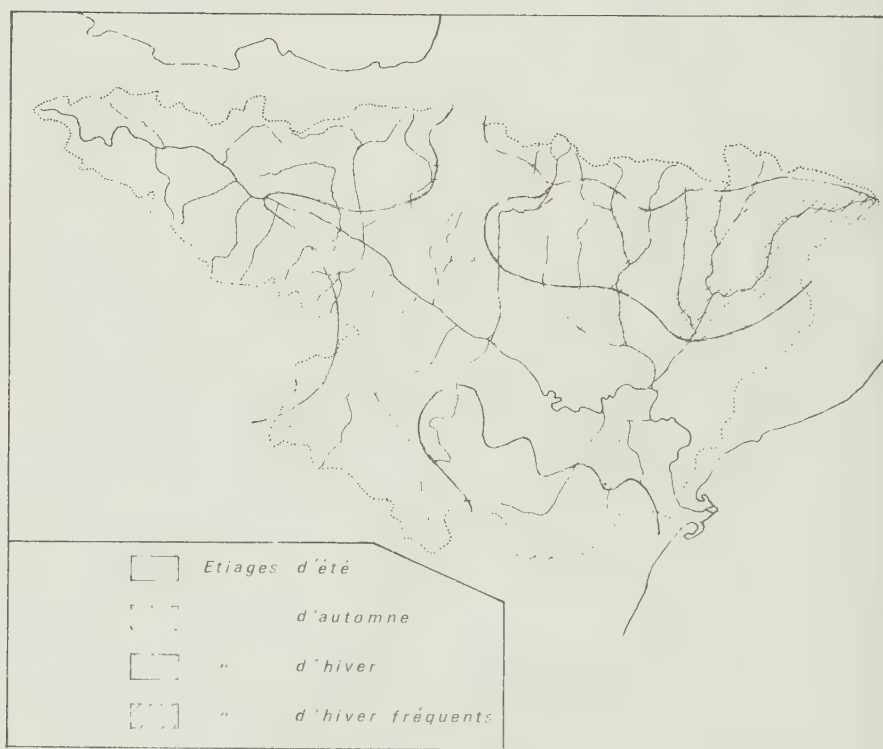


Fig. 81: DATE DES ETIAGES DANS LE BASSIN DE L'EBRE



un peu d'eau dans le lit de sorte que nous n'avons jamais constaté d'épuisement total à Seros où l'étiage minimum s'est toutefois abaissé en août 1929 au chiffre très bas de 2,9 m³/s soit 0,4 l/s/km². Depuis 1948 on constate d'une part que l'étiage annuel n'est jamais tombé au-dessous de 6 m³/s, d'autre part que ces minima sont extrêmement variables et parfois très abondants, dépassant 50 % du module au cours de plusieurs années consécutives : de 1951 à 1955, en 1962 - 63 et encore en 1966. Les 2/3 du module ont même été atteints ou dépassés quatre fois dans la période étudiée. Une pareille abondance sur une rivière méditerranéenne ne peut s'expliquer que par l'intervention de l'homme.

Ainsi, des "barrancos" de la Dépression Centrale, à sec tous les étés pendant de longs mois, aux sources karstiques qui assurent au Piedra cette belle régularité, la nature et l'homme se sont conjugués pour offrir une gamme très large de valeurs d'étiage. Toutefois, à l'état naturel, les étiages misérables sont de loin les plus répandus, et c'est pour atténuer les conséquences économiques de ce phénomène qu'une vaste politique de construction de barrages a été développée. Cette politique a eu pour résultat non seulement de modifier les valeurs des minima sur les rivières concernées, mais encore le plus souvent d'en déplacer la date.

B - DATE DES ETIAGES -

A tout moment de l'année, une partie du réseau affluent de l'Ebre peut se trouver en situation d'étiage. En effet, la diversité des altitudes et des nuances climatiques implique pour les différents

secteurs du bassin, une sensibilité à phénomènes variés : rétention nivale, sécheresse estivale ou automnale, sans compter l'action de l'homme qui peut provoquer des étiages artificiels, en particulier au printemps, lors du remplissage des bassins de retenue. Ainsi, selon le milieu traversé, les aménagements dont elles font l'objet, les rivières présentent une plus grande fréquence de minima à telle ou telle saison. Sans doute les fantaisies du climat peuvent-elles, certaines années, bouleverser complètement le schéma normal et si ces fantaisies se répètent assez souvent, elles peuvent faire apparaître une deuxième période de pénurie. Ainsi la fréquence des longues sécheresses étirées vers l'automne reporte souvent à cette saison les étiages estivaux de la Dépression Centrale. Inversement, dans les zones à étiages d'automne prépondérant, des pluies plus précoces peuvent avancer à l'été l'époque des plus basses eaux. Malgré ce, presque partout une dominante se dessine assez nettement pour que nous ayons pu tenter de la cartographier.

Il est apparu alors que, du point de vue qui nous occupe, le bassin de l'Ebre se divisait en trois secteurs d'inégale importance : l'un à minima d'été, très vaste, couvrant toute la gouttière centrale et s'ouvrant sur la Méditerranée. Encerclant ce secteur, une zone à minima d'automne, elle aussi largement étalée en particulier à l'amont du bassin et sur la retombée des Pyrénées. Enfin, aux limites de notre domaine, un secteur à minima d'hiver dessine une mince bande coiffant le sommet de la chaîne pyrénéenne (cf. fig. 81).

1°/ Le domaine des étiages d'hiver est donc réduit à une frange de hautes terres étirée entre le haut Gallego - et sans doute les sources de l'Aragon - et les premiers affluents de rive droite du Sègre :

Carol et Rahur, venus du massif du Carlit. La limite Sud de ce domaine est liée à la puissance de l'alimentation nivale - voire glaciaire - d'amont. C'est pourquoi son altitude est variable selon les rivières : moins de 850 m sur l'Esera où elle atteint son niveau le plus bas, 1350 m sur la Noguera de San Nicolau. Sur la haute Pallaresa, la plus haute station : Lladore, à 1120 m, a déjà des étiages d'automne. Plus à l'Est, dans les Pyrénées orientales plus sèches et dans l'ensemble plus basses, la limite s'élève encore pour se situer entre 1500 et 2000 m. La même évolution s'observe lorsque, à partir de l'Esera on se dirige vers l'Ouest. La limite se maintient d'abord à un niveau assez bas sur le Cinca passant apparemment vers la station de La Fortuñada à 800 m d'altitude, à la confluence Cinca-Cinqueta. Le petit nombre d'observations dont nous disposons ne permet malheureusement pas de conclure de façon précise. De même on manque d'informations sur le haut Gallego et le haut Aragon. Mais il semble bien que, au-delà du Mont Perdu, en allant vers l'Ouest, le secteur à étiages d'hiver se rétrécisse au point de ne plus englober que les bassins de réception de ces deux dernières rivières.

A l'intérieur de cette zone, on observe une grande régularité dans la date des étiages. A Villanova, station de l'Esera située à 840 m seulement, donc assez basse, les 2/3 des étiages se situent dans le trimestre janvier-février-mars, et 56 % en janvier-février. D'une façon générale, c'est en février que la rétention nivale est la plus efficace et la fréquence des minima la plus grande. Mais il arrive que le minimum annuel se situe en fin de saison chaude : septembre, octobre, voire novembre. Ces trois mois rassemblent 12 % des étiages à Villanova. Et de toutes façons l'automne connaît presque toujours des épisodes

de basses eaux plus ou moins graves et durables, lorsque s'est épuisé le capital de neige fraîche de l'hiver précédent et lorsque les nappes longtemps entretenues par la fusion commentent à s'égoutter plus lentement. Ces étiages d'automne disparaissent tout à l'amont, sur les émissaires des nêvés, tandis qu'ils deviennent vite prépondérants lorsque l'influence nivale se fait plus lointaine. Mais des minima d'hiver peuvent encore se rencontrer sur les grands collecteurs jusqu'à leur confluence avec l'Ebre. Ils résultent alors, non seulement de la faiblesse de l'alimentation en amont, mais des possibilités de grave sécheresse hivernale dans toute la moitié est des Pyrénées.

2°/ Le domaine des étiages d'automne couvre trois secteurs : La moyenne montagne pyrénéenne, le secteur vasco-cantabrique et le NW du Système Ibérique.

Entre la zone nivale d'amont à maigres hivernaux et la Dépression Centrale où la pénurie est surtout estivale, l'essentiel de la montagne pyrénéenne connaît ses plus graves problèmes en automne. Il y a à cela de nombreuses raisons. Pour les rivières venues d'amont, on a déjà noté la disparition à cette époque de l'alimentation nivale soit par épuisement du capital de neige, soit par arrêt de la fusion et réapparition de la rétention à la faveur de nuits plus fraîches. Pour les petites rivières non nivales, d'autres processus entrent en jeu. En particulier on constate que les vallées encaissées, ou les dépressions intramontagnardes comme la Cerdagne connaissent un léger creux pluviométrique entre les orages du début de l'été - juin juillet - et le retour en force, vers le mois de novembre, des perturbations océaniques ou méditerranéennes. De plus, les pompages estivaux ont épuisé

les réserves des bassins alors que les cultures d'arrière saison nécessitent encore une irrigation. Ainsi, tout au long de l'été, les réserves nivales de la haute montagne, les réserves aqueuses des nappes et des barrages se sont peu à peu épuisées, provoquant ces étiages d'automne, centrés plus précisément sur le début de la saison, septembre surtout, octobre secondairement.

Au-delà de l'Aragon-Arga, les Pyrénées s'articulent avec le système cantabrique qui relève lui aussi du domaine à étiages d'automne. Là encore, il s'agit surtout d'un phénomène du début de l'automne. Sur le Zadorra par exemple, 37 % des étiages se produisent en septembre, 25 % en octobre. La situation est à peu près la même sur le rio Ayuda, sur l'Ega supérieur et son affluent l'Urredera. Sans doute, l'Ebre supérieur présentait-il avant 1948, c'est à dire avant la construction de la retenue de Reinosa, un comportement semblable. Cet étiage de septembre-octobre représente le retentissement différé des sécheresses estivales. En effet, les minima pluviométriques se localisent ici sur juillet-août tandis que la lame d'eau s'élève à nouveau en septembre et surtout en octobre. Mais il faut compter avec le temps de réaction des nappes dans ce pays où les calcaires et surtout les grès jouent comme on l'a vu, un rôle important.

Ce régime se poursuit sur le versant ibérique où il est toutefois interrompu au niveau du bassin du Jalon. A vrai dire, il est généralisé et nettement défini seulement dans la partie NW de ce système montagneux. Au SE au contraire, minima d'été et d'automne s'équilibrent le plus souvent, sauf à l'issue des bassins de retenue, ceux du Huerva, du Martín, du Guadalope où l'étiage est nettement reporté à l'automne.

3°/ La Dépression Centrale et le bassin inférieur relèvent d'un régime à pénurie estivale. Ce régime s'étend des environs de Logroño au delta. Il caractérise aussi la quasi totalité du bassin du Jalon, la cuvette de Lérida, ainsi que de petits secteurs du bassin de l'Aragon : la "Canal de Berdun" et le bassin de Pampelune. Il résulte de la fragilité des nappes dans une zone où les pluies d'hiver sont particulièrement misérables, ceci est vrai surtout pour le versant ibérique et la cuvette de Lérida - et les pluies de printemps, même lorsqu'elles constituent le maximum saisonnier, trop faibles pour imbiber suffisamment les sols et les couches réservoirs. Si l'on songe de plus à la puissance de l'évaporation estivale, en particulier dans la dépression aragonaise et sur le versant méditerranéen, on comprendra l'extension de ce domaine.

Pour être complet, il faut signaler enfin le cas particulier de quelques tronçons de rivières qui ont l'habitude de placer au printemps leurs épisodes de plus grave pénurie. C'est le cas du Jiloca à Calamocha, de la Ribagorzana inférieure, tandis que Pallaresa inférieure et bas Guadalope partagent leurs étiages entre l'été et le printemps. Les causes de cette répartition sont très différentes selon qu'il s'agit du versant de rive droite ou du versant de rive gauche de l'Ebre. On peut dire que ces causes sont naturelles dans le premier cas, artificielles dans le second. En effet, le haut bassin du Jiloca et accessoirement le bassin supérieur du Guadalope connaissent de longues sécheresses hivernales. Pour peu que les pluies de printemps tardent à apparaître, les nappes s'épuisent, et dans le lit des rivières, les débits s'effondrent.

C'est par contre à des causes techniques qu'il faut faire appel pour expliquer les étiages de printemps de la basse Ribagorzana ou même de la basse Pallaresa, lesquels retentissent d'ailleurs parfois sur le régime du Sègre lui-même. Dans ce milieu méditerranéen, à crues d'automne et de printemps, on a intérêt, pour garder aux bassins leur rôle secondaire d'écrêteur de crue, à les fermer le plus tard possible, après le passage des premières crues de printemps qui, de plus, sont les plus turbides. C'est pourquoi à Balaguer la plupart des étiages se produisent en avril.

Par contre, les étiages de printemps du moyen et bas Guadalupe semblent avoir une double origine : climatique comme sur le Jiloca et technique comme sur les Nogueras ainsi que le prouve l'examen des débits autorisés à sortir du bassin de Santolea.

Ainsi le climat, la nature du sol et l'action des hommes se conjuguent pour diversifier sur les rivières les modalités de la pénurie. Dans cette variété des étiages, il convient maintenant d'établir une classification.

C - LES TYPES D'ETIAGES -

En regroupant les observations précédentes, on peut distinguer les types suivants :

1°/ Les étiages d'hiver des rivières nivales, abondants et réguliers dans cette abondance : Les minima absolus rencontrés se situent entre 5 et 10 % du module et les étiages annuels ne présentent pas de grandes oscillations. Sur l'Esera par exemple, de 1948 à 1970,

ils ont varié seulement du simple au quadruple. C'est là une valeur faible pour un phénomène souvent très irrégulier, puisque, dans d'autres milieux, le rapport peut tendre vers l'infini. Quant à la durée de ces étiages, elle présente des fluctuations dans le temps, en fonction du climat thermique de l'hiver, et dans l'espace en fonction de l'altitude.

Ces rivières nivales connaissent presque toujours un étiage secondaire d'automne, pouvant même certaines années de devenir principal. Dans le premier cas ces minima sont particulièrement volumineux, dans le deuxième cas, leur valeur est à peu près semblable à celle des phénomènes hivernaux. Mais ici encore, tout ceci est très finement modulé par l'altitude.

2°/ Les étiages surabondants des rivières karstiques :

Leur caractère essentiel réside dans le rapport élevé du débit minimum annuel au débit moyen. Le cas du Piedra est typique à cet égard, avec son minimum absolu égal à 48 % du module. Quant à la date, elle est éminemment variable en fonction du milieu climatique dans lequel s'intègre la rivière. Sur le Piedra, situé au cœur d'une zone à minima estivaux, l'étiage a lieu le plus souvent en septembre, donc avec un léger retard par rapport aux cours d'eau voisins, et aux contraintes du climat. Quant aux rivières karstiques de haute montagne, bien que nous n'ayons pas à leur sujet de données précises, nous pouvons supposer qu'elles ont pour caractéristique d'étaler dans le temps l'influence nivale.

3°/ Les étiages misérables des torients méditerranéens du secteur central du Système Ibérique et des petites rivières de la Dépression Centrale se produisent très régulièrement en été : 48 % des étiages du Jalon se situent en juillet et 88 % pendant le trimestre estival. Ces étiages peuvent aller jusqu'à un assèchement complet plus ou moins fréquent selon l'importance de la rivière et son mode d'alimentation, plus ou moins long selon les fluctuations annuelles du climat.

4°/ Les étiages techniques : Très variables quant à leur gravité et à leur date, ils sont presque toujours en discordance, voire en totale opposition avec le régime réel de la rivière. Sur les cours d'eau à alimentation déjà misérable comme ceux du versant ibérique, l'écoulement peut-être artificiellement interrompu pendant un temps plus ou moins long. Ainsi en 1968, l'Aguas Vivas en aval de la retenue de Moneva a cessé de couler pendant les cinq dernières semaines de l'année civile. Certes, la rivière ne serait sans doute asséchée de toutes façons mais plus tard, au cours de l'été suivant et non au cœur de l'hiver.

Les grandes rivières pyrénéennes ont aussi des étiages techniques correspondant à la période de remplissage des réservoirs. Ils se situent le plus souvent au printemps, en particulier sur le réseau Sègre-Cinca, parfois en hiver - hiver 1961-62 à Yesa -. Ils sont généralement secondaires, et par conséquent assez peu creusés, mais ils peuvent devenir principaux lors des années de déficit hydrométrique printanier, printemps 1966 par exemple, ou encore printemps 1958. Cette année là en effet, le mois de mars n'a fourni pratiquement qu'une pluie sur un vaste secteur s'étendant du bassin du Guadalupe au bassin

moyen du Sègre. La baisse naturelle de débit jointe à la nécessité de refaire malgré tout les réserves, a provoqué sur le Sègre et les deux Nogueras des étiages principaux d'avril-mai. Quant à l'étiage naturel de ces rivières, qui se situerait le plus souvent en août, septembre ou octobre, il se trouve profondément modifié par la multiplication des ouvrages de régulation. Les graphiques d'entrées et sorties dans les retenues sous-pyrénéennes (cf. fig. 52 et 53) montrent que le minimum est très souvent retardé d'un mois et que, de plus, il est moins long et moins creusé qu'à l'état naturel. Les stations situées à l'aval des bassins connaissent donc deux périodes de maigres : l'une au moment du remplissage des bassins, pas très sévère en général, l'autre, plus grave, bien qu'atténuée par rapport au régime naturel, et correspondant à l'épuisement des réserves en fin de saison chaude.

Dans la partie amont du bassin, d'influence océanique, c'est en hiver que se remplissent les réservoirs, de novembre à mars essentiellement, déterminant ainsi des étiages artificiels hivernaux dans un secteur à étiages d'automne. Ainsi sur le Najerilla, le minimum s'est situé trois fois en hiver sur huit ans d'observation. On verra qu'à l'issue du bassin de l'Ebre, le minimum d'hiver est devenu une règle quasi absolue. D'autre part, on constate bien souvent sur les rivières ainsi régularisées, un épisode de débits très creusés en juin, juste avant le début des irrigations, épisode de courte durée, mais capable de constituer le minimum annuel - juin 1968 par exemple sur le Najerilla -. A cette époque en effet, où tout danger de crue est pratiquement écarté, on complète la réserve en vue des irrigations estivales.

TABEAU XIV : ETIAGES ABSOLUS ET DEBITS CARACTERISTIQUES DE 355 JOURS POUR L'EBRE ET SES PRINCIPAUX AFFLUENTS

Rivières	Stations	Etiage absolu			D C E	
		m3/s	l/s/km2	Date	m3/s	Période de référence
EBRE	Miranda	0,5	0,09	Av. 49	8,5	1957 - 58 à 1966 - 67
	Zaragoza	2,1	0,05	Spt. 38	24	1956 - 57 à 1967 - 68
	Tortosa	12,0	0,14	At 62 et 64	34	1955 - 56 à 1967 - 68
Aragon Gallego Cinca Segre	Caparroso	0,0	0,0	Jt 49	9	1957 - 58 à 1966 - 67
	Ardisa	0,0	0,0	plusieurs fois	6	1956 - 57 à 1965 - 66
	Fraga	0,2	0,02	Jt 50	4	1957 - 58 à 1966 - 67
	Seres	0,0	0,0	plusieurs fois	21,5	1957 - 58 à 1966 - 67
Jalon Gualadape	Huermeda	0,0	0,0	At 1914	2	1957 - 58 à 1965 - 66
	Alcañiz	0,0	0,0	At 1917	0,5	1956 - 57 à 1964 - 65

Les DCE ont été déterminées graphiquement sur les courbes de débits classés

Les étiages absolus portent sur la période 1937-1970 sauf pour Seres où la série débute en 1947-48

SECTION II - LES ETIAGES DE L'EBRE -

A - VALEUR ET DATE DES MINIMA ANNUELS -

- L'Ebre supérieur :

Malgré la proximité de l'Océan, l'altitude, et une sécheresse beaucoup moins sévère, ici que sur le bassin moyen ou inférieur, malgré la nature souvent gréseuse du substratum, l'Ebre supérieur connaît, certaines années au moins, des étiages relativement creusés. Ainsi en avril 1949, le débit à Miranda est tombé à 0,5 m³/s soit 0,1 l/s/km² et 0,7 % seulement du module. Mais c'est là un chiffre tout à fait exceptionnel, le chiffre moyen se situant autour de 7 m³/s et 1,25 l/s/km². Par contre, les années de forte hydraulicité, le débit minimum reste très gonflé. En 1966-67 par exemple, il n'est pas descendu au-dessous de 20 m³/s soit 3,6 l/s/km² et 32 % du module. Il est vrai que tout ceci est assez fortement influencé par l'action du grand barrage d'amont. Dans quelle proportion et dans quel sens, il est difficile de le préciser exactement, en l'absence de station à l'amont dudit barrage. Il semble que les années d'été très sec, les étiages soient atténués, à condition que l'hiver précédent ait été suffisamment humide. Ainsi après l'été 1962, un des plus secs du demi-siècle à Reinosa, le minimum à Miranda n'est descendu qu'à 8,4 m³/s en novembre. Par contre, l'étiage peut être aggravé lorsqu'un déficit pluviométrique d'hiver ou de printemps rend difficile la reconstitution des réserves. En 1961 par exemple, après des mois de février-mars, particulièrement secs, il a fallu prendre sur des apports d'avril-mai déjà très maigres pour recons-

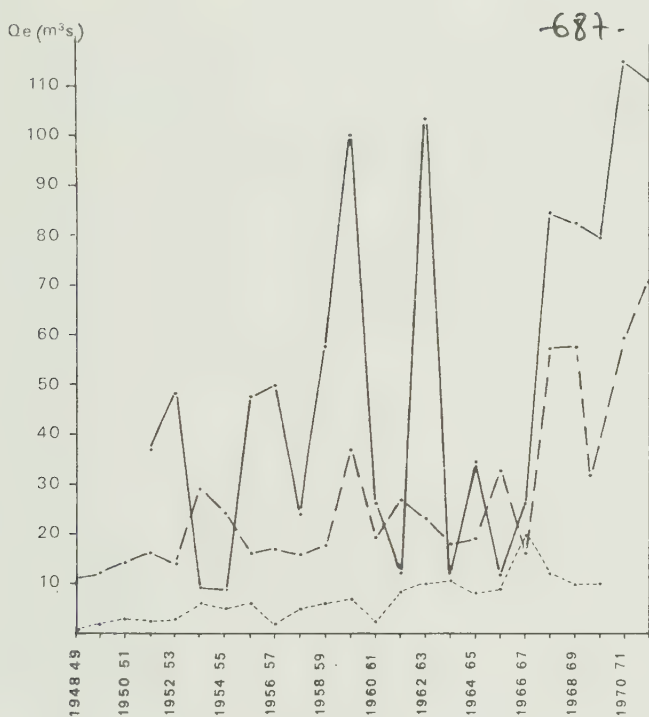


Fig. 82: LES ETIAGES DE L'EBRE

A MIRANDA
 ZARAGOZA - - -
 TORTOSA —

(Moyenne journalière minimale enregistrée
 chaque année)

tituer la réserve, ce qui explique cet étiage très creusé de mai, plus creusé sans doute qu'il n'aurait été à la fin de l'été suivant qui s'est révélé relativement humide. Tout ceci peut être quelque peu affirmé par l'examen du régime des entrées et sorties dans le bassin de Reinosa (v. fig. 51). Sur 10 années d'observation, nous avons constaté que six fois le minimum avait été atténué. Pendant ces six ans, le bassin a donc agi dans le sens d'une modération des étiages. Mais il est impossible de pousser plus loin les conclusions et surtout de les généraliser à partir d'une série aussi courte.

Par contre, l'influence du barrage sur la date des minima est beaucoup plus facile à préciser. Avant 1948, les étiages à Arroyo comme à Miranda se situaient surtout en août ou septembre. Depuis cette date, ils ont été généralement reportés sur octobre, novembre ou décembre. Ce décalage résulte des manipulations de vannes au niveau de la retenue de Reinosa. En effet, les réserves constituées en hiver et au printemps sont progressivement libérées en été, ce qui permet de soutenir les débits pendant toute la saison chaude où les irrigations sont nécessaires. En novembre, comme on peut le voir sur le graphique des entrées et sorties dans la retenue, les vannes se ferment brusquement pour permettre la reconstitution des réserves épuisées par des sorties estivales bien supérieures aux apports. Autre fait nouveau depuis 1948, l'apparition d'étiages en juin, parfois assez creusés pour constituer le minimum de l'année. Mais, même lorsqu'ils n'apparaissent pas sur le tableau des minima annuels, des épisodes de maigres se dessinent tous les ans en mai-juin, au moment où le débit naturel s'affaiblit rapidement tandis que l'eau si précieuse pour les irrigations estivales est encore retenue derrière le barrage. On la libérera brusquement

en juillet, et le débit s'élèvera alors à nouveau dans le lit de l'Ebre. Cette influence d'ordre artificiel se dilue progressivement vers l'aval mais reste encore bien visible à Miranda où deux saisons d'étiages se dessinent donc : l'une, principale, en novembre, généralement plus longue et plus creusée, et d'origine essentiellement technique, l'autre à la fin du printemps, juin le plus souvent, qui représente en réalité le début de la chute des débits naturels, et par conséquent de l'étiage annuel naturel, la partie la plus creusée de cet étiage étant ensuite cachée par la libération des réserves.

L'Ebre moyen :

L'arrivée des premières grandes rivières pyrénéennes, la multiplication des prises d'eau au niveau des canaux de Lodosa, Tauste, et Impérial, modifient alors sensiblement le tempérament du fleuve. Les étiages de printemps disparaissent totalement, ainsi que les maigres tardifs d'automne. Désormais, le minimum se situe essentiellement en été. A Saragosse, on le trouve dans 52 % des cas en août, dans 18 % des cas en juillet, soit 70 % des minima en juillet-août, le reste en septembre d'abord puis octobre. La longueur des épisodes secs d'été, la puissance de l'évaporation sous l'effet d'une chaleur torride, l'importance des ponctions sur le fleuve et ses affluents, expliquent à la fois la localisation des minima annuels sur les mois les plus chauds et la faiblesse de ces minima. Leur moyenne pour la période de 23 ans qui s'étend de 1949 à 1971, s'élève seulement à 21,8 m³/s soit 0,5 l/s/km² et 8 % du module; mais le minimum absolu est tombé à 11 m³/s et 0,3 l/s/km² en 1949. A cette date sous le pont de Saragosse, seules trois arches étaient en eau, celle de droite étant complètement asséchée, tandis que l'échelle cotait 0,20 m. Si l'on élargit la période

d'observation, on voit le minimum minimorum s'abaisser encore pour atteindre le chiffre extraordinairement bas de $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$, chiffre enregistré en septembre 1938.

L'Ebre inférieur :

La situation n'est pas sensiblement différente sur l'Ebre inférieur, malgré l'apport du puissant réseau Sègre-Cinca. Tout d'abord, la date des minima est à peu près la même, avec un renforcement du mois d'août qui fournit à lui seul 62 % des étiages. Quant aux Q_m (10) ils s'échelonnent entre les dates extrêmes du 14 juillet et 18 octobre un peu plus tard par conséquent que ceux de Saragosse, leur poids principal se situant entre le 22 juillet et le 22 août. L'éventail des possibilités n'est guère plus large pour les Q_m (20) que l'on rencontre entre le 13 juillet et le 26 octobre. Ainsi par le groupement très étroit, presque exclusif des étiages sur la saison chaude, l'Ebre inférieur, comme l'Ebre moyen participe au régime hydrologique caractéristique de la dépression aragonaise et du versant méditerranéen.

En ce qui concerne la valeur de ces minima, leur moyenne à Tortosa s'élève à $42,1 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période étudiée. Ils sont donc, dans l'ensemble un peu moins misérables qu'à Saragosse, bien que les $8,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ou $0,1 \text{ l/s/km}^2$ du minimum absolu enregistré en octobre 1954, se situent au-dessous du minimum à Saragosse. Par contre, certaines années, l'étiage reste exceptionnellement élevé : $112 \text{ m}^3/\text{s}$ en août 1972, $106 \text{ m}^3/\text{s}$ en août 1968. Les écarts entre les années sont donc considérables, plus importants qu'à Saragosse. Le débit minimum de 1972 représente 13 fois celui d'octobre 1954, et le graphique des minima annuels présente un tracé en dents de scie particulièrement mouvementé.

Tout ceci est assez misérable si l'on compare cette situation à celle du versant français des Pyrénées. Nous donnons dans le tableau XLVI, pour l'Ebre et la Garonne, et pour des bassins versants d'étendue comparable, les minima enregistrés depuis le début du siècle.

TABLEAU XLVI : DEBITS MINIMA BRUTS ET SPECIFIQUES ET % DU MODULE QU'ILS REPRESENTENT A TROIS STATIONS DU BASSIN DE L'EBRE ET TROIS STATIONS DU BASSIN DE LA GARONNE.

Stations	EV (km ²)	Qm (m ³ /s)	qm l/s/km ²	% de $\bar{Q}$	Date
Miranda	5480	0,5	0,1	0,7	Avril 1949
Valentine	2230	14,8	6,7	25	Mars 1949
Mendavia	12010	8	0,66	6	Septembre 1949
Toulouse	9980	23,4	2,3	12	Août 1949
Saragosse	40444	2,1	0,05	0,8	Septembre 1938
Mas d'Age- nais	52000	38	0,73	6	Août 1949

Partout l'Ebre nous apparaît en très nette infériorité par rapport au collecteur pyrénéen du versant nord. La comparaison avec La Loire ne serait pas plus favorable. Contentons nous ici de citer les minima de Tortosa et Montjean pour des bassins versants ayant respectivement 80000 et 110000 km². Face aux 48 m³/s enregistrés à Montjean en 1921, représentant 0,44 l/s/km² les 8,6 m³/s et 0,1 l/s/km² de l'Ebre à Tortosa font bien piètre figure.

Par contre, comparés à ceux des autres fleuves espagnols, les étiages de l'Ebre paraissent un peu moins sévères (cf. Tableau XLVII).

TABLEAU XLVII : L'ETIAGE MINIMUM DE L'EBRE A TROIS NIVEAUX DE SURFACE
COMPARE A CELUI DE QUELQUES FLEUVES IBERIQUES ET DE LA GARONNE

Fleuve	S	10 à 12 000 km ²	40 à 50 000 km ²	60 000
EBRE	1	8 m ³ /s	2,1	8,6
	2	0,66 l/s/km ²	0,05	0,1
	3	6 % de $\bar{Q}$	0,8	1,5
	4	Mendavia (IX.1949)	Saragosse (IX 1938)	Tortosa (X
	5	12 010 km ²	40 434	84 230
TAGE	1	1 m ³ /s	0	1
	2	0,1 l/s/km ²	0	0,016
	3	3 %	0	0,3
	4	Aranjuez (XII.1912)	Villareal (XIII 1969)	V.V.da Rodas (E
	5	9 340 km ²		60 000
DOURO	1	0,1 m ³ /s	0,1	14
	2	0,008 l/s/km ²	0,004	0,15
	3	0,2 %	0,06	2,2
	4	Herrera (XI.1912)	Toro (VIII-1958)	embouchure
	5	12 740 km ²	41 808 km ²	97 620
GUADALQUIVIR	1		0	
	2		0	
	3		0	
	4		Séville (VIII.1945)	
	5		52 050 km ²	
GARONNE	1	23,4 m ³ /s		3,8
	2	2,3 l/s/km ²		0,07
	3	12,8 %		0,6
	4	Porter (VIII.1947)		Mas d'Agenais (V
	5	9 980		52 000

1. Qe, étiage minimum en m³/s.
2. Qe " " l/s/km².
3. % du module.
4. Station et date.
5. Surface en km².

B - FREQUENCE ET DUREE DES EPISODES DE BASSES EAUX A SARAGOSSE ET TORTOSA -

1°/ Etude de fréquence des débits minima moyens de 10 jours et 20 jours consécutifs :

Les fluctuations des valeurs d'étiage d'une année à l'autre nous conduisent à nous poser le problème de la fréquence de ces phénomènes. En particulier, il est intéressant de connaître quelle est la probabilité d'occurrence des étiages les plus graves, ceux dont l'influence sur la vie économique est la plus pesante. Nous avons choisi de raisonner non sur les Q_e (débits minima annuels) mais sur les Q_m (10) et Q_m (20), valeurs définies plus haut, et qui nous paraissent avoir une réalité plus concrète et un intérêt plus grand dans une perspective d'économie de l'eau. Dès lors, il s'agissait d'adapter une loi statistique à la répartition expérimentale des 21 données de Q_m (10) et Q_m (20) relatives à Tortosa et des 20 données correspondantes pour la station de Saragosse. Après quelques tâtonnements, il est apparu qu'en passant par les logarithmes des valeurs, on obtenait, sur papier gaussien un assez bon alignement des points. Il nous a suffi alors d'utiliser la loi de Gauss pour construire la droite d'ajustement. La lecture du graphique et la traduction en m^3/s des logarithmes portés en abscisses, nous montre que, à Tortosa, un an sur deux en moyenne, le débit minimum moyen de 10 jours consécutifs atteint au maximum 51,3 m^3/s et un an sur dix, il ne dépasse pas 15,6 m^3/s . Par contre, un an sur dix il dépasse 158 m^3/s . Nous compléterons cette étude en signalant que les extrêmes rencontrés sont de 13,2 m^3/s en août 1966 pour le minimum et 200,3 m^3/s en août 1972 pour le maximum. Ce dernier chiffre est assez étonnant

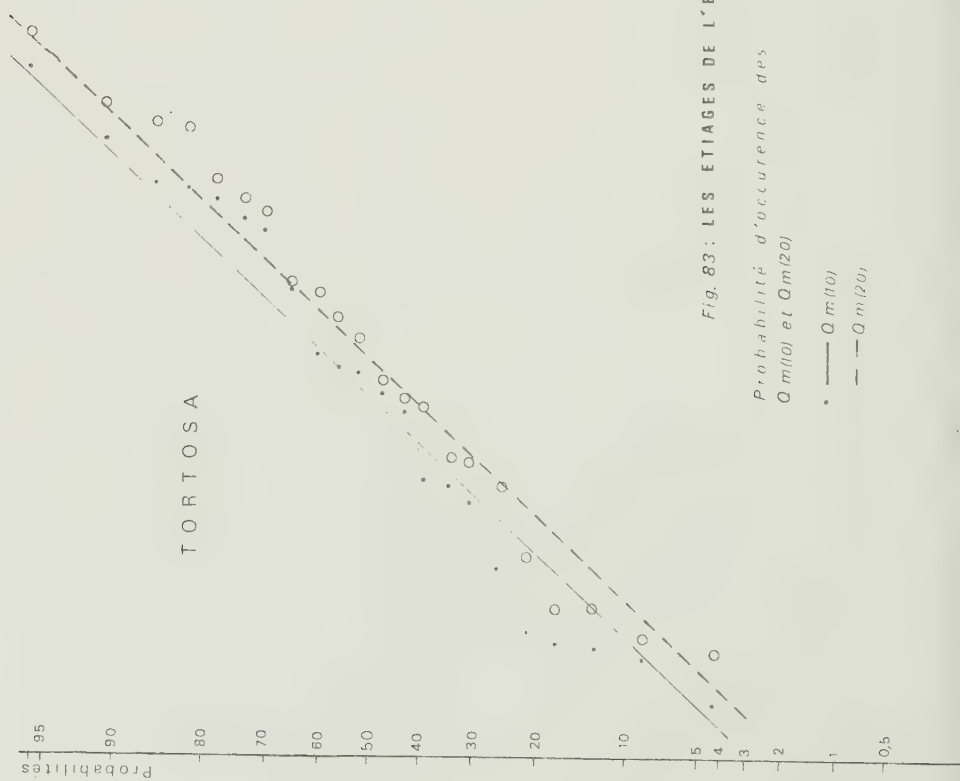
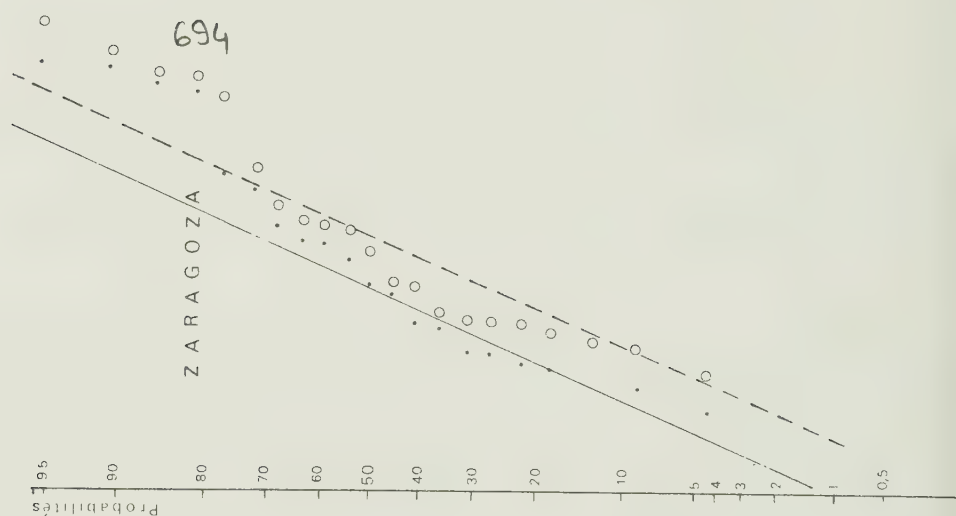


Fig. 83: LES ETAGES DE L'EBRE

Probabilité d'occurrence des
 $Qm(t_0)$ et $Qm(20)$

• — $Qm(t_0)$
— $Qm(20)$

TABLEAU XLVIII : NOMBRE D'EPISODES DE DEBIT DE DUREE J JOURS INFERIEURS
A UN SEUIL DONNE

a) Tortosa :

nb de jours Q (m3/s)	I-7	7-14	14-21	21-30	30-60	>60	max
< 100	58	12	5		6	5	79 (1965)
< 50	39	8	5	0	3	0	59 (1955)
< 30	35		6	0		0	3 (1962)
< 20	18	3	2	0	0	0	11 (1965)

b) Saragosse

nb de jours Q (m3/s)	I-7	7-14	14-21	21-30	30-60	>60	max
< 60	27	7	4	2	2	4	109 (1967)
< 40	17	5	3	2	1	3	72 (1957)
< 30	20	4	1	0	2	0	57 (1957)
< 20	11	1	0	0	0	0	9 (1967)

a - à Tortosa pendant 15 ans.

b - à Saragosse pendant 10 ans

puisque'il représente le tiers du module.

Sur le plan économique, les chiffres de Saragosse sont plus intéressants que ceux de Tortosa situé tout près du delta et en aval de toutes les prises d'eau importantes. Or les Qm (10) de Saragosse traduisent une pénurie encore plus grave. Pour les fréquences 10,50, et 90 %, nous avons trouvé des valeurs de 15,25 et 39 m³/s.

2' / Fréquence et durée des épisodes de basses eaux de différentes valeurs :

Il nous est apparu après avoir étudié les minima annuels ainsi que les Qm (10) et Qm (20) que ces notions étaient encore insuffisantes pour donner une idée complète de ces phénomènes complexes et variés que sont les étiages. En effet, les basses eaux peuvent se prolonger certaines années au-delà de 10 ou 20 jours, de plus, on peut avoir plusieurs épisodes de maigres plus ou moins prononcés au cours de l'année. Il s'agissait donc d'essayer de donner une idée de la longueur et de la profondeur des épisodes de pénurie. Pour cela, nous avons choisi des seuils et compté à partir de 15 années consécutives de débits journaliers à Tortosa et 10 ans à Saragosse, le nombre de jours pendant lesquels le fleuve était resté au-dessous de ces seuils. Nous traduisons le résultat de nos comptages dans les tableaux LVIII, a et b.

Le tableau réalisé montre qu'il n'est pas rare surtout en été de voir les débits de l'Ebre à Tortosa tomber au-dessous de 50 m³/s soit 9 % du module. Nous avons compté au total 366 jours au-dessous de ce chiffre, soit une moyenne de 24 par an, mais inégalement répartis

selon les années et groupés en épisodes de longueur très variable. Ainsi l'été 1955, très sec en rassemble à lui seul 95 dont 59 consécutifs. En 1959, 60, 68, 69, le fleuve s'est constamment tenu au-dessus de cette valeur. Le plus souvent chaque été compte 3,4 ou 5 épisodes de débit inférieur à 50 m³/s dont un en moyenne de plus d'une semaine tandis qu'un an sur deux, cette valeur d'étiage se maintient au-delà de deux semaines. Les séquences inférieures à 20 m³/s (3,5 % du module), sont heureusement beaucoup plus rares et beaucoup plus courtes. Nous en avons compté 23 au total dont 5 seulement supérieures à une semaine. Inversement, presque tous les étés, à l'exception des années pluvieuses de 1960, 63, 68, 69, les débits se maintiennent pendant de longues périodes au-dessous de 100 m³/s. Ces périodes se situent entre le début juillet et la fin septembre et peuvent s'étirer sur deux mois. 5 fois en 15 ans nous avons ainsi compté plus de 60 jours consécutifs de débit inférieur à ce seuil.

En valeur absolue, les étiages de Saragosse sont encore plus sévères que ceux de Tortosa. Mais si l'on veut connaître l'évolution du phénomène entre Saragosse et Tortosa, il faut comparer des valeurs qui soient comparables, par exemple, les séquences inférieures à 50 m³/s à Tortosa et celles inférieures à 20 m³/s à Saragosse qui représentent respectivement 9 et 8 % du module. On voit alors que les séquences sont plus nombreuses et plus longues à Tortosa. Les étiages tendent donc à s'aggraver vers l'aval, malgré l'apport du puissant réseau Sègre-Cinca, et bien que celui-ci n'ait pas encore atteint son plus bas niveau lorsque le fleuve enregistre ses maigres les plus prononcés.

Ce travail gagnerait beaucoup en intérêt si des études semblables étaient faites sur d'autres rivières espagnoles et sur la Garonne,

permettant ainsi d'utiles comparaisons. Malheureusement, si les crues ont depuis longtemps attiré l'attention des chercheurs, les étiages, à cause de leur aspect négatif, et parce qu'ils sont beaucoup moins spectaculaires ont trop longtemps été négligés. Pourtant, dans une région où une partie considérable de l'agriculture est étroitement liée à l'irrigation, l'intérêt économique de cette étude est au moins aussi importante que celle des crues

Le travail auquel nous avons dû nous livrer pour aboutir à ces résultats nous a permis de constater combien la physionomie des étiages et leur déroulement pouvait varier d'une année à l'autre malgré l'action régulatrice des bassins. Ainsi nous sommes amenés à considérer maintenant des types d'étiages en fonction de leur durée, de leur profondeur et de leur place dans l'année

C - LES TYPES D'ETIAGES SUR L'EBRE MOYEN ET INFÉRIEUR

Ce sont les fluctuations souvent considérables de ces éléments ainsi que leur combinaison qui donnent à chaque étiage sa personnalité. Ainsi le minimum de 1972 à Tortosa s'est tenu à des niveaux très élevés : 112 m³/s, ce qui représente 13 fois les minima de 1954 et 1955. On a là un type d'étiage peu creusé, caractéristique des années aux printemps et étés pluvieux, et qui s'oppose aux étiages profonds mais plus ou moins durables des étés 1954 - 55 - 58 - 66. L'étude des séquences de faible débit montre d'autre part des années d'étiages très prolongés - étés 1957 - 58 - 67 - mais plus ou moins creusés, d'autres étiages très courts - 1956 - ce qui ne les empêche pas d'être parfois très pro-

fondés. Enfin, des épisodes de basses eaux peuvent parfois se localiser en hiver.

En fonction de la combinaison de ces variables, nous avons retenu la classification suivante :

- étiages peu marqués des années à forte hydraulité
- étiages profonds et de courte durée
- étiages profonds et durables
- étiages peu creusés mais durables
- étiages d'hiver

1 / Etiages peu marqués des années à forte hydraulité :

La série des quinze années étudiées nous en offre plusieurs exemples : ceux des étés 1960 - 63 - 68 - 69 - 72. Ils se caractérisent d'abord du point de vue hydrologique par des minima annuels d'une particulière abondance. Les 112 m³/s enregistrés en août 1972 à Tortosa représentent 20 % du module, et le moins spectaculaire de ces phénomènes, celui de 1969 vaut encore 83 m³/s et 15 % de ce même module. De même les Qm (10) varient de 116 à 200 m³/s. C'est à dire que dans ces cas là, le creux estival est à peine marqué.

L'abondance de cette hydrologie s'explique soit par un été pluvieux accompagné de températures fraîches, soit par un printemps très arrosé permettant d'amener les nappes à saturation et de remplir les réservoirs au maximum à la veille des prélèvements estivaux, parfois aussi de retarder les irrigations.

Les étiages de 1963 et 1968 relèvent du premier processus.

Les mois d'août de ces deux années ont reçu chacun 63 mm de pluie (lame d'eau moyenne sur l'ensemble du bassin) soit le record des 25 dernières années. L'été 63 en particulier fut le type même des étés pourris, caractérisé par des températures au-dessous de la normale, et de fréquents orages qui apportèrent au total 180 mm d'eau au cours des trois mois d'été. On sait que l'un de ces orages devait provoquer la crue la plus catastrophique dont les hautes vallées aragonaises aient gardé le souvenir.

Par contre, si le niveau du fleuve s'est maintenu au cours des étés 1960 et 69 à un niveau aussi élevé, c'est que les débits ont été constamment soutenus par les réserves abondantes constituées au cours de l'hiver et du printemps précédent. Avec 100 mm en mars, 139 en avril et 65 en mai, le printemps 1969 est le plus arrosé du dernier quart de siècle. Quant à l'année 1960, on sait combien elle fut exceptionnelle du point de vue hydrologique, par le volume global des eaux roulées au cours de l'année - près de 29 000 hm³, contre 17500 en moyenne - et par le nombre et la puissance des crues dont la dernière, si l'on se place dans le cadre de l'année hydrologique devait se produire en plein coeur du mois de juillet, contribuant à masquer un étiage déjà bien compromis. Hydraulicité exceptionnelle due à une pluviosité non moins exceptionnelle : avec une lame d'eau de 893 mm, les douze mois qui précèdent la date normale de l'étiage sont les plus arrosés au moins depuis 1936 et peut être même remportent-ils le record du siècle.

2°/ Les étiages profonds et durables :

A l'inverse des précédents, les étiages les plus sévères et les plus longs, ont pour origine un déficit pluviométrique progressivement aggravé au cours d'une longue suite de mois secs.

Ici encore, le climat pluviométrique printanier joue un rôle essentiel. Lorsque la sécheresse débute très tôt, dès le mois de mars par exemple, les différentes réserves, souterraines, navales, artificielles, n'ont pas toujours le temps d'être complétées, et de plus commencent très tôt à se vider. Elles s'épuisent donc rapidement et l'étiage commence alors très tôt. Seules les grosses averses d'automne pourraient y mettre fin, car les pluies d'été profitent peu aux nappes du fait de l'évaporation intense et de la nature souvent orageuse de ces pluies qui ruissellent sur un sol desséché, croûté en surface. L'étiage de 1955 est typique de ce processus. 75 mm de pluie seulement tombèrent sur le bassin en mars-avril-mai, faisant de ce début de printemps le plus sec de toute la période 1948-1970. Aussi, dès le mois d'avril, le débit tombait à 40 m³/s à Torrosa. L'été qui suivit, bien que relativement arrosé, ne réussit pas à régénérer l'éclatement qui se tint à des niveaux très bas tout au long des mois de juillet, août et septembre et ne retrouva son niveau normal qu'avec le retour des pluies d'automne et la baisse des températures au début novembre. Le schéma est à peu près le même en 1967 et encore en 1965 avec un simple décalage dans le temps des périodes de déficit pluviométrique et hydrologique. Quant à l'étiage de 1949, le plus spectaculaire tant par sa longueur que par sa sévérité, il résulte de conditions climatiques tout à fait exceptionnelles, caractérisées par la plus forte extension tem-

porelle et spatiale de la sécheresse que l'Espagne et même l'Europe occidentale aient connu depuis bien longtemps.

Si l'on excepte cet étiage de 1949 prolongé d'ailleurs en 1950, et qui relève d'une sorte d'aberration climatique, les maigres prolongés semblent le plus souvent liés à un important déficit pluviométrique printanier. La situation s'aggrave encore si l'hiver précédent a été lui aussi déficitaire, réduisant ainsi l'accumulation nivale. Alors, l'Ebre inférieur reste au-dessous de 100 m³/s pendant plus de 2 mois consécutifs au cours desquels se placent un ou plusieurs épisodes de très basses eaux : on a compté 17 jours de débit inférieur à 20 m³/s en 1965, 37 jours en 1955, dont 9 consécutifs. Il va de soi que ce type d'étiage est celui qui pèse le plus lourdement sur l'économie du pays.

3° / Les étiages profonds et courts :

Les années 60 nous en offrent un certain nombre d'exemples, en particulier lors des étés 1962-64-66. Prenons le cas de 1962. Après un hiver humide et un printemps normalement arrosé, les mois de juillet-août furent exceptionnellement secs - 29 mm d'eau seulement - et chauds. La température s'éleva plusieurs fois au-dessus de 40°, dans maintes stations de la dépression intérieure. Dans ces conditions, l'étiage annuel, s'il commença assez tard, à la mi-juillet seulement, fut très creusé du fait du fort déficit estival, et se termina brusquement le 27 septembre avec le retour en force des orages d'automne qui mit fin à la période de pénurie (cf. fig. XXIV. H.T.). D'une façon générale, un été sec et chaud entraînant une forte évaporation et nécessitant une

irrigation importante, encadré de saisons intermédiaires bien arrosées, est le plus souvent à l'origine de ce type.

4 / Les étiages peu creusés mais durables :

Le meilleur exemple nous en est fourni par ceux de l'année 1957. Alors que la chute des débits au niveau de Tonnay se fait généralement en juin, cette année là, le 30 mars, le débit n'est que 92 m³/s. Déjà depuis le 18 du mois on est au-dessous de 150 m³/s. Cet étiage précède résulter d'un hiver particulièrement sec - 31 mm seulement en décembre-janvier alors que la moyenne est de 92 mm - prolongé par un mois de mars lui aussi décevant. Le fleuve enregistre alors plusieurs épisodes de basses eaux relatives (entre 60 et 100 m³/s) séparés par de petites poussées. Les étiages vont s'allonger et se creuser quelque peu au cours de l'été mais sans jamais descendre au-dessous de 50 m³/s ni dépasser 25 jours de débit inférieur à 100 m³/s. Les mois de mai et surtout juin, très arrosés ont en effet épargné au fleuve les grosses pénuries estivales. L'automne suivant, les pluies ayant fait défaut, cette situation s'est prolongée jusqu'en décembre. Ainsi le rythme hydrologique au cours de cette année assez étonnante s'est présenté sous la forme d'une série d'étiages courts et peu creusés, séparés par des seuils jamais très importants : 200 à 250 m³/s au maximum, ce qui nous a permis de considérer que l'ensemble constituait un seul étiage particulièrement étalé puisqu'il aura duré du 30 mars au début décembre. A l'origine de ce type, une longue série de mois défilitaires avec un intermède très humide dont on soulignera une fois de plus la place : mai-juin, et des températures estiva-

les peu élevées, mis à part une courte période très chaude du 30 juillet au 18 août.

5°/ Les étiages d'hiver :

Deux hivers parmi les quinze étudiés présentent une hydraulicité tout à fait déficitaire, il s'agit des hivers 56-57 et 57-58. Dans chacun des cas, après une petite crue automnale les débits sont retombés en décembre-janvier au-dessous de 200 m³/s ceci respectivement pendant 14 et 16 jours consécutifs. La fin janvier et février ont été ensuite un peu mieux pourvus mais entre des épisodes de 10 à 20 jours de débit un peu plus conséquent se sont glissées tout au long de l'hiver, des séquences plus maigres de 2 à 300 m³/s, représentant en gros le 1/3 à la moitié du débit annuel. Cette situation résulte de l'extension à la plus grande partie du bassin, du régime de sécheresse hivernale caractéristique du versant méditerranéen et du secteur centre ibérique, sécheresse rendue plus aigüe encore ces années là, par un défaut de pluviosité automnale.

TABLEAU L : DIFFERENTES EXPRESSIONS DES DEBITS MINIMA DE L'EBRE A TORTOSA
ET DATE DE CES EVENEMENTS

Années	Qe	date	Qm (10)	date	Qm (20)	date	Qm M	Date
1951 - 52	37	At	58,9	17 - 26 At	77,2	11 - 30 At	128	At
1952 - 53	48	At	49,4	2 - 11 S	50,7	1 - 22 S	66	At
1953 - 54	8,6	O	32,4	9 - 18 O	40,4	7 - 26 O	47	At
1954 - 55	9	J-At	17,1	25 Jt - 3 At	17,5	14 Jt - 2 At	72	At
1955 - 56	48	At	60,2	28 Jt - 6 At	86,5	18 Jt - 6 At	131	At
1956 - 57	50	At	54,5	26 Jt - 4 At	56,4	23 Jt - 11 At	73	At
1957 - 58	24	At	24	12 - 21 At	25,1	3 - 22 At	31	At
1958 - 59	58	At	65,5	3 - 12 At	70,0	3 - 22 At	74	At
1959 - 60	101	S	122,7	7 - 16 S	132,8	27 Jt - 15 At	161	At
1960 - 61	26	At	36	23 At - 1 S	53,2	18 At - 6 S	92	At
1961 - 62	12	At	18,1	8 - 17 S	21,2	29 At - 17 S	30	At
1962 - 63	103	Jt	140,3	22 - 31 Jt	181,6	14 Jt - 2 At	263	At
1963 - 64	12	Jt	16,9	14 - 23 Jt	35,2	13 Jt - 3 At	53	At
1964 - 65	15	At	16,2	1 - 10 At	21,0	1 - 20 At	29	At
1965 - 66	12	At	13,2	10 - 19 At	16,5	2 - 21 At	80	At
1966 - 67	26	At	34,3	12 - 21 At	39,7	5 - 24 At	44	At
1967 - 68	86	O	116,5	24 Jt - 2 At	124	18 At - 6 S	136	At
1968 - 69	83	Jt	129,3	19 - 28 Jt	144,5	9 - 28 At	173	At
1969 - 70	80	At	88,7	25 Jt - 3 At	89,9	7 - 26 At	44	At
1970 - 71	116	Jt	141,8	1 - 10 At	187,2	28 Jt - 16 At	173	At
1971 - 72	112	At	264,3	20 - 29 At	279,8	11 - 30 At	301	At
1972 - 73	168	S	174	17 - 25 S	217,7	14 S - 3 O	231	S

Qe : débit minimum absolu.

Qm (10) : débit minimum moyen des 10 jours consécutifs de plus basses eaux.

Qm (20) : débit minimum moyen des 20 jours consécutifs de plus basses eaux.

Qm M : débit minimum mensuel.

Nota : Pour cette étude, la délimitation de l'année hydrologique est calquée sur les rythmes annuels de la rivière. Elle s'étend donc des premières poussées d'automne à la fin de l'étiage d'été ou d'arrière-saison. Ces dates sont évidemment variables d'une année à l'autre.

TABLEAU LI : PLACE DE L'ETIAGE (Qe) DANS L'ANNEE HYDROLOGIQUE
(EN X DU NOMBRE D'OBSERVATIONS)

Rivière et Station	Période de référence	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Ebre supr Miranda	1948 - 1970 22 ans	14	23	9				4	9	18	9	4	9
Ebre moyen Zaragoza	1948 - 1971 23 ans	13									18	52	18
Ebre infr Tortosa	1951 - 1972 21 ans	19									10	62	10
Zadorra Arce	1954 - 1969 16 ans	25	12								6	19	37
Aragon Caparros	1948 - 1969 21 ans	10									10	37	42
Gallego Ardisa	1948 - 1969 21 ans	30	5	5	10	10						15	35
Cinca Fraga	1948 - 1970 22 ans	14									4	59	18
Segre Seros	1948 - 1969 21 ans	16	11		11			11		5	5	26	16
Jalon Huermeda	1949 - 1969 19 ans								5	10	48	29	10
Guadalope Alcañiz	1950 - 1969 19 ans	17						24		12	12	17	12
Piedra Carenas	1953 - 1969 16 ans	13	7					7	13	7	13	7	33
Esera Villanova	1953 - 1969 16 ans	6	6	6	25	31	12			6			6

TABLEAU LI : ETIAGES DE L'EBRE ET DE SES AFFLUENTS

Années	Aragon Caparroso	Gallego Ardisa	Cinca Fraga	Sègre Sesos	Jalon Huesmeda	Guadalupe Alañiz	Piedra Catenus	Esera Villanova	Ebre Miranda	Ebre Zaragoza	Ebre Tortosa
1948 - 49	0,0 Jt	2 F-At	1 At	9 (n)	-	-	-	-	0,5 Av	11 Jt	-
1949 - 50	0,01 S	0,2 N	0,2 At	19,5 N	0,9 Jt	-	-	-	2 0 12	S	-
1950 - 51	0,01 0	3,9 0	4,5 0	49,3 Jv	1,7 0	0,3 At	-	-	3 N 14	0	-
1951 - 52	2,7 S	5 0	9,5 At	45 S	4,6 S	0,05 Jn	-	-	2,6 0 16	At	At
1952 - 53	2,8 S	3,2 S	4 At	46,1 0	00,9 Jt	0,3 S	-	-	3,3 S 14	S	At
1953 - 54	3,2 At	3,4 At-0	2 At	62 At	1,5 Jt	0,9 0	1,1 Mai	2,2 Ms	6 D 29	0 9	0
1954 - 55	4,2 At	3,4 0	5,5 0	60 N	0,9 Jt	0,8 Av	0,9 S	5,0 Jv	Jn 24	At	Jt-At
1955 - 56	6 At	8,5 S	7,1 Jt	49,5 At	2,4 S	1,5 0	2,4 S	5,1 Ms	D 16	At	At
1956 - 57	3 At-S	3,3 F	4,2 At	20,8 At	1 Jt	0,7 Av	1,7 S	4,8 F	Jt 17	At	At
1957 - 58	3 At	3,9 0	2 At	11 Jn	0,8 Jt	0,7 At	0,9 S	2,7 Jv	Jn 16	At	At
1958 - 59	2 S	4,3 D	5 At	6 At	2 Jt-A	2,0 Jt	2,4 0	3,8 D	6 N 18	0 58	At
1959 - 60	2 S	12 S	9 At-S	15,2 Av	2,3 At	2,7 Jt	3,7 Jt-A	4,7 F	7 At-S	37 Jt	101 S
1960 - 61	8 At	8,5 S	5 At-S	7 Av	3,7 At	0,1 Jn	3,5 Jn	3,5 Jn	2,5 Mai	19 At	26 At
1961 - 62	10 S	5,5 S	4,5 At	33 S	4,3 At	1,2 D-S	3,0 Mai	4,1 N	8,4 N 27	At	12 At
1962 - 63	18 Jt	6,6 0	17 S	-	4 J-J-A	0,8 D	0,3 N	2,0 F	9,9 N 23	Jt	103 Jt
1963 - 64	13 At	8,3 At	2,5 F	83 At	4,2 Mai	0,6 Jt	1,4 Av	2,5 Jv	10,2 Mai	18 At	12 Jt
1964 - 65	13,9 S	6,5 S	12,4 At	18,8 0	3,3 Jt	0,1 S	0,7 Jt	1,2 F	7,8 N 19	At	15 At
1965 - 66	17 0	10,3 0	22 S	29,0 At	6,3 Jn	0,4 Av	0,1 0	3,5 S	9 33	S	112 At
1966 - 67	25,5 0	10,7 0	23,9 At	30,4 Jn	3 Jt	0,3 At	0,2 S	4 Jv	20 Jn	16 At	26 At
1967 - 68	23,6 S	6,7 0	22,5 Ms	36 At	4,4 Jn	0,5 0	0,4 At	3,1 0	11,8 Jn	58 Jt	185 At
1968 - 69	33 S	18,5 At	30,6 At	36,8 N	6,7 Jt	1,6 S	0,3 N	3 F	10 N	58 At	83 Jt
1969 - 70	17 At	10,9 S	23 S	46,1 At	-	-	-	-	10 J-Jt	41,9 Jt	80 At
1970 - 71	15,5 N	-	-	-	-	-	-	-	-	60 At	116 0
1971 - 72	16,5 Jt	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4 At	112 At
1972 - 73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	168 S

Débits journaliers minima (en m3/s) enregistrés pendant la période 1948 - 49 à 197 - 72.

(n) = valeur atteinte au cours de plusieurs mois.

CH A P I T R E I I

CAUSES DES ETIAGES

Elles résident évidemment dans l'importance des sècheresses. Mais il s'agit là d'un phénomène complexe, présentant essentiellement deux aspects que nous étudierons successivement : la faiblesse des pluies et l'importance des prélèvements. L'étude de la sècheresse dans la Péninsule Ibérique n'est pas nouvelle. Etant donné le caractère de gravité qu'elle revêt ici et ses implications dans la vie économique et humaine du pays, de nombreux chercheurs, climatologues, hydrologues, ingénieurs, se sont déjà penchés sur ce problème. Une de leurs premières préoccupations fut de délimiter la zone sèche et en même temps de cartographier son intensité. Leur expression de la sècheresse s'est basée sur quatre éléments :

- Les quantités de pluies (J. Brunhes)
- Les indices thermopluviométriques (M. Sorre - J. Dantin Cereceda et A. Revenga Carbonel - H. Gaussen - Emberger).
- Le nombre de mois secs (H. Gaussen - P. Bircot)
- Le bilan hydrique (Thorntwaite).

Mais ces recherches portent sur la sécheresse en tant que phénomène moyen. Nous essaierons ici d'aller au-delà et de nous intéresser aux phénomènes individuels, c'est à dire aux épisodes secs. Nous chercherons à évaluer leur intensité, la date à laquelle ils se placent le plus fréquemment, leur durée, leur fréquence. Pour cela, nous nous baserons sur 20 ans de données journalières à cinq stations de référence : Reimsa, Saragosse et Tortosa pour la vallée de l'Ebre, Lérida pour la zone sous-pyrénéenne et Calamocha pour le versant ibérique. Nous utiliserons aussi les très longues séries de pluies mensuelles conservées au centre climatologique du bassin de l'Ebre, lequel possède pour Reimsa, Saragosse et Tortosa respectivement 60, 100 et 90 ans de données mensuelles. A vrai dire, la sécheresse que nous essayons d'atteindre ici est surtout une sécheresse météorologique. Dans une perspective hydrologique, il serait plus intéressant de traiter des sécheresses "efficaces" : celles qui se situent en deça du seuil pluviométrique entraînant la recharge des nappes et la reprise de l'écoulement. Or c'est là une étude qui ne peut être entreprise que dans le cadre d'un très petit bassin versant. D'autre part la multiplication des bassins enlève ici à ce genre de recherche toute valeur explicative. C'est pourquoi nous avons préféré travailler à une échelle moins fine, en espérant, malgré ses insuffisances, apporter tout de même un élément utile à la compréhension des étiages et de leur variété régionale.

SECTION I - LA FAIBLESSE DE L'APPORT PLUVIAL -

A - LA FAIBLESSE DES PLUIES -

On a déjà souligné dans le chapitre relatif au climat, la faiblesse des totaux annuels sur de vastes secteurs du bassin. Rappelons seulement que, sur la base du critère choisi par J. Brunhes : l'isohyète 600 mm, 59,5 % du bassin appartiennent à l'Ibérie sèche et si l'on considère les zones recevant moins de 400 mm comme très sèche, 30 % de la surface, près du tiers du bassin, relèvent de ce domaine. Mais nous avons choisi de porter l'attention sur les épisodes secs. C'est dans ce but qu'a été dressé le tableau LVII dans lequel nous avons rassemblé et classé par ordre pour chaque station les six minima pluviométriques les plus faibles pour des périodes de 2, 3, 6 et 12 mois. Ces minima ont été relevés à l'intérieur de longues périodes d'observation de 60 à 100 ans.

La lecture de ce tableau nous laisse confondus par la faiblesse des chiffres que l'on peut y relever. On remarque, à la station de Tortosa, la possibilité de deux mois consécutifs sans pratiquement aucune pluie, et cela aussi bien en été qu'en hiver, ce qui est plus grave encore pour l'hydrologie car les pluies d'été, de toutes façons, profitent peu aux rivières étant donné l'intensité de l'évapotranspiration. A Saragosse, la situation n'est guère meilleure car, si nous n'avons pas trouvé de sécheresse absolue étalée sur deux mois, les 0,5 mm de l'été 1962 ou 1 mm de juillet-août 1878 ne valent guère mieux. Il est intéressant de noter qu'au niveau des pluies de deux mois et

même de trois mois, les plus graves pénuries à Reinsa soutiennent la comparaison avec celles de Saragosse ou Tortosa, ce qui prouve la possibilité d'extension - en particulier en été - de la sécheresse méditerranéenne à cette partie du bassin d'influence océanique. On retrouve ici le rôle de la situation aérologique de cette région, en particulier sa position par rapport à l'anticyclone des Açores. Simplement, les très graves sécheresses sont ici plus rares que sur le bassin moyen ou inférieur, comme le montre la rapide augmentation des chiffres à partir des 4ème et 5ème rangs.

Mais ce sont les longues pénuries qui sont les plus spectaculaires et les plus graves sur le plan de l'hydrologie. Dans la courbe des pluies de six mois, on trouve pour Saragosse surtout, des chiffres étonnants qui nous transportent véritablement au cœur du domaine aride. Nous avons compté 22 mm seulement pour les six mois qui s'étendent d'août 1881 à janvier 1882 ! Ces 22 mm représentent 6,8 % du module. Plus près de nous, d'octobre 1948 à mars 1949, la grande cité aragonaise n'a reçu que 25 mm de pluie. A Tortosa, et surtout Reinsa, les chiffres correspondants sont un peu moins misérables, mais témoignent encore de possibilités de très graves pénuries.

Quant aux minima de douze mois consécutifs, ils paraissent absolument incroyables pour cette région du globe : 94 mm à Saragosse de mai 1948 à avril 1949. C'est la moyenne de Fort - Gouraud en Mauritanie. Les 190 mm de Tortosa (octobre 1923 - septembre 1924) équivalent quant à eux à la lame d'eau annuelle de Gao sur la boucle du Niger. Il est vrai que ce sont là des phénomènes exceptionnels, au cours desquels les stations considérées ont reçu respectivement 29 % et 36 % de leur module. Quant à Reinsa, aussi bien en valeur absolue que rela-

TABEAU LII : PLUIES MINIMALES POUR DIVERSES PERIODES

Station	2 mois		3 mois		4 mois	
	P (mm)	Date	P (mm)	Date	P (mm)	Date
Reinosa (1912 - 1971)	1 2,1	Jt - At 1962	6,7	Jn - At 1962	41,9	Jn - Spt 1962
	2 9,7	Jt - At 1924	19,6	Jn - At 1924	72,2	Jn - Spt 1946
	3 13,4	Jt - At 1953	35,3	Jt - Spt 1966	74,2	Jn - Spt 1968
	4 17,8	Fv - Ms 1945	43,8	Jt - Spt 1926	75	Jn - Spt 1926
	5 18,4	Jn - Jt 1948	45,2	Jn - At 1956	79,6	Jn - Spt 1924
	6 18,7	Jt - At 1957	46,5	Jn - At 1948	79,7	Jn - Spt 1956
Zaragoza (1870 - 1971)	1 0,5	Jt - At 1962	2,9	Jn - Spt 1878	12	Oct 1881 - Jv 1882
	2 1	Jt - At 1878	5,1	At - Oct 1954	16,6	Dc 1947 - Ms 1948
	3 2,1	Jt - At 1909	5,7	Jt - Spt 1970	18,6	Spt - Dec 1912
	4 2,8	Jn - Jt 1924	7,1	Jt - Spt 1957	18,9	Jn - Spt 1967
	5 3,5	At - Spt 1954	8,9	Jv - Ms 1949	19,4	Dc 1937 - Ms 1938
	6 3,8	Jt - At 1957	9,7	At - Oct 1870	25	Dc 1874 - Ms 1875
Tortosa (1880 - 1971)	1 0,0	Jt - At 1903	8,7	Nov 1922 - Jv 1923	15,2	Nv 1922 - Fv 1923
	2 0,2	Dc 1967-Jv 1968	10,0	Jt - Spt 1911	15,9	Nv 1952 - Fv 1953
	3 1,0	Jt - At 1900	10,1	Dc 1952 - Fv 1953	18,7	Ma - At 1906
	4 2,9	Nv - Dc 1937	14	Jn - At 1931	27	Ma - At 1892
	5 4,0	Jt - At 1892	17,9	Fv - Av 1961	30	Jn - Spt 1892
	6 4,4	Jn - At 1948	18	Jn - At 1948	30,5	Dc 1956 - Ms 1957
Bassin total (1948 - 1969)	1 24,5	Jv - Fv 1949	62	Dc 1948 - Fv 1949	75,6	Nv 1948 - Fv 1959
	2 27,5	Fv - Ms 1961	62,9	At - Oct 1954	86,7	Jt - Oct 1954
	3 29,5	Jt - At 1962	64,9	Jt - Spt 1950	90,6	Jn - Spt 1967
	4 31,4	Dc 1956-Jv 1957	66	Jn - At 1967	91,7	Dc - Ms 1957
	5 38,7	Oct - Nv 1948	67,7	Dc - Fv 1957	95,5	Jn - Spt 1950
	6 39	Jn - Jt 1967	69,6	Spt - Nv 1948	101,1	At - Nv 1948

TABLEAU LII : PLUIES MINIMALES POUR DIVERSES PERIODES (suite)

Station	5 mois		6 mois		12 mois	
	P (mm)	Date	P (mm)	Date	P (mm)	Date
Reinosa (1912 - 1971)	1 85,4	Jn - Oct 1962	134,6	Jn - Nv 1968	462	Ms 1948 - Fv 1949
	2 94,4	Jn - Oct 1946	149,6	Jn - Nv 1948	515	Fv 1968 - Jv 1969
	3 102,5	Jn - Oct 1968	170,9	Ma - Oct 1924	592	Nv 1945 - Oct 1946
	4 116,5	Jn - Oct 1924	178	Av - Spt 1955	599	Oct 1954 - Spt 1955
	5 130,6	Jn - Oct 1948	185	Ma - Oct 1962	612	Dc 1963 - Nv 1964
	6 134,1	Ma - Spt 1964	193,6	Av - Spt 1964	665	1932
Zaragoza (1870 - 1971)	1 18,1	Nv 1947 - Ms 1948	22	At 1881 - Jv 1882	94	Ma 1948 - Av 1949
	2 22	At - Dc 1881	25,1	Oct 1948 - Ms 1949	171	Ms 1881 - Fv 1882
	3 24	At - Dc 1912	44,4	Jt - Dc 1912	171,5	1912
	4 26,7	Ma - Spt 1967	52,9	Nv 1937 - Av 1938	172	Nv 1966 - Oct 1967
	5 29,9	Dc 1937 - Av 1938	54,1	Nv 1874 - Av 1875	172	Dc 1923 - Nv 1924
	6 37	Nv 1874 - Ms 1875	56,6	Oct 1952 - Ms 1953	173	Dc 1898 - Nv 1899
Tortosa (1880 - 1971)	1 50,9	Ma - Spt 1958	69,4	Nv 1952 - Av 1953	190	Oct 1923 - Spt 1924
	2 52	Ma - Spt 1892	77,2	Jv - Jn 1944	248	Nv 1922 - Oct 1923
	3 53,5	Av - At 1924	78,6	Ms - At 1924	249	Nv 1924 - Oct 1925
	4 59,2	Jv - Ma 1944	81,8	Av - Spt 1958	258	1934
	5 60,6	Nv 1952 - Ms 1953	82,6	Jn - Nv 1923	259	193
	6 66,6	Jn - Oct 1923	94,6	Ma - Oct 1942	267	Jn 1952 - Ma 1953
Bassin total (1948 - 1969)	1 100,7	Oct 1948 - Fv 1949	131,8	At 1948 - Fv 1949	340	Ms 1948 - Fv 1949
	2 127,2	Jn - Oct 1950	149,6	Jn - Nv 1948	421	Dc 1949 - Nv 1950
	3 129,1	Ma - Spt 1967	157,8	Jn - Nv 1950	445	Nv 1966 - Oct 1967
	4 130,3	Jt - Nv 1948	163,2	Av - Ar 1965	519	1954
	5 130,7	Jt - Nv 1954	165,7	Jt - Dc 1954	534	Dc 1952 - Nv 1953
	6 142,2	Jv - Ma 1953	178,0	Av - Spt 1967	543	Oct 1956 - Nv 1957

tive, c'est la station la moins défavorisée puisque son minimum ne tombe qu'à 462 mm, chiffre qui représente presque la moitié de la normale.

Nous nous bornerons pour le moment aux minima de douze mois mais, comme on le verra plus loin, la sécheresse peut parfois se prolonger sur plusieurs années consécutives créant ainsi, pour les rivières, des conditions d'alimentation extrêmement précaires.

B - SECHERESSES D'ETE, SECHERESSES D'HIVER : LES NUANCES REGIONALES -

1° / Date des minima pluviométriques mensuels :

Une première approche du problème a consisté simplement à rechercher la date des minima mensuels pluviométriques à quelques stations caractéristiques et pour l'ensemble du bassin

Le tableau ci-après relatif à la répartition temporelle des minima mensuels, fait ressortir pour l'ensemble du bassin une légère supériorité de juillet et de l'été en général, supériorité due au poids des secteurs représentés ici par la station cantabrique de Reinosa et les stations pyrénéennes de Canfranc et Panticosa. On note qu'il s'agit là de la partie du bassin soumise à l'influence océanique. Cette tendance aux minima d'été qui s'affirme dès l'amont se poursuit en s'atténuant quelque peu sur le bassin moyen sensible aux orages estivaux, protégé par contre durant une partie de l'hiver par l'anticyclone thermique de la Meseta toute proche. Minima d'été et d'hiver tendent alors à s'équilibrer dans la cuvette aragonaise (Saragosse) comme sur le versant ibérique (Calamocha). Aux approches de la Méditerranée c'est en hiver que

TABEAU IIII : EPOQUE DES MINIMA PLUVIOMETRIQUES
MENSUELS

Stations	n	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Reinosa (1920 - 1977)	35	2	4		0	0		2	6		3	0	1
Zaragoza (1921 - 1970)	50	8	6	5	4	2	3	8	8	2	1	3	0
Tortosa (1920 - 1977)	38	-	5	2	4	1	1	8	2	1	2	1	4
Canfranc (1949 - 1968)	3	2	5	3	2	2	0	6	6	2	3	1	1
Panticosa (1949 - 1968)	3	3	3	2	3	2	2	6	4	1	8	2	0
Lerida (1949 - 1968)	36	-	5	4	4	1	0	7	3	1	0	1	3
Calamecha (1949 - 1968)	34	3	4	1	0	1	0	4	7	2	2	4	2
Bassin total (1948 - 1969)	22	2	3	1	2	0	2	4	2	1	2	2	2

se situe désormais la plus grande fréquence des minima. A Tortosa, à la racine du delta, janvier-février groupent 1/3 des minima contre 1/4 seulement au bimestre juillet-août. Et cette tendance s'accroît lorsque des phénomènes d'abri viennent creuser encore le déficit hivernal caractéristique de ce secteur de la Méditerranée. Un bon exemple de cette situation nous est fourni par la cuvette léridane.

Ces différentes nuances se composent sur l'ensemble du bassin de manière à donner à l'été, plus particulièrement à juillet un léger avantage sur l'hiver, et plus précisément sur février.

Tout ceci doit être nuancé par l'examen d'épisodes secs plus longs, et la prise en compte de l'intensité de la sécheresse.

2°/ Date des pluies minimales pour des périodes de deux à six mois :

- En amont du bassin, la sécheresse est un phénomène exclusivement estival. Que l'on envisage des périodes de 1, 2... ou 6 mois, c'est toujours la saison chaude qui enregistre la plus grande fréquence de minima pluviométrique, et les totaux les plus bas. On constate d'ailleurs dans l'apparition de ces records de faiblesse, une régularité assez remarquable. Le mois le plus sec est dans 1/3 des cas le mois de juillet ; 1/3 des minima de deux mois se sont localisés en juillet-août, et au niveau de quatre mois, les six records de ces 50 dernières années, se sont très régulièrement placés sur le groupe juin-septembre. Une seule sécheresse d'hiver s'est glissée dans ce tableau, celle de février-mars 1945, ces deux mois n'ayant apporté à Reimsa que 17,8 mm d'eau ce qui est tout à fait exceptionnel dans ce milieu.

- Sur le bassin moyen, représenté ici par Saragosse, l'hiver est désormais à égalité avec l'été en ce qui concerne la fréquence des minima mensuels. Mais les choses sont ici plus complexes. En matière d'intensité, le tableau montre que les sécheresses de deux à trois mois les plus intenses se situent toujours en été, entre juin et septembre, et le plus souvent autour de juillet-août. Au niveau des sécheresses de quatre mois, l'hiver fait brusquement une entrée en force, occupant les 2,5 et 6ème rang de cette colonne, en vertu de l'importance des sécheresses hivernales s'y trouvant encore dans la classe des minima de dix mois. On peut donc affirmer que, dans le bassin moyen de l'Ebre, les longues sécheresses sont des phénomènes de saison froide, tandis que les sécheresses plus courtes (2, 3 mois) sont plus remarquables en été.

- A Tortosa, et sur la frange méditerranéenne, la situation est presque renversée. C'est l'hiver qui, désormais, enregistre le plus grand nombre de minima mensuels, mais en ce qui concerne l'intensité de la sécheresse, on constate que pour de courtes périodes, 2, 3 et jusqu'à 4 mois, les deux saisons sont à peu près à égalité ; tandis que pour les sécheresses plus longues, étalées sur cinq à six mois, l'été retrouve la priorité.

Quelle est la résultante, pour l'ensemble du bassin de ces différents régimes ?

Le poids d'une continentalité très poussée sur de vastes secteurs du bassin - toute la cuvette centrale, et la plus grande partie du versant nord du Système Ibérique -, introduit dans la moyenne du bassin versant de fréquents minima hivernaux, d'autant que cette influence est renforcée par l'influence méditerranéenne d'aval qui agit

dans le même sens. C'est pourquoi hiver et été s'équilibrent à peu près au niveau des sécheresses de courte durée. Mais dès que l'on envisage des phénomènes de plus grande ampleur, c'est l'été qui tend à l'emporter : les sécheresses longues et sévères sont surtout estivales, ou au moins de semestre chaud. Si l'on songe que, du fait de la latitude et de la continentalité dont on a souligné l'étendue, ces faibles totaux s'accompagnent de fortes chaleurs, on conçoit que les étiages des rivières soient, dans ces cas là très prononcés. A signaler toutefois une exception assez spectaculaire dans cette répartition, celle de la période de septembre 1948-février 1949 qui remporte le record des minima de six mois. Mais il s'agit là d'un phénomène extraordinaire à l'intérieur d'une période exceptionnelle sèche qui s'étend du printemps 1948 à la fin de l'année 1950 et qui referme pour l'ensemble du bassin, tous les records de faiblesse de précipitation.

SECTION II - FREQUENCE ET DUREE DES EPISODES SECS -

Nous avons ici orienté nos travaux dans deux sens :

- Recherche de la probabilité de durée des épisodes secs
- Recherche de la probabilité d'avoir 1, 2, 3... n épisodes secs supérieurs ou égaux à θ jours. Nous avons fait ce travail pour les trois stations de la vallée supérieure, moyenne et inférieure du fleuve, ainsi que pour Calamocha et Lérida en utilisant nos 20 ans de données journalières. Mais plutôt que de porter l'étude sur l'année entière, nous sommes restés dans le cadre saisonnier qui permet généralement un meilleur ajustement mathématique et de plus, correspond à la distinction que nous avons faite entre étiages d'été et étiages d'hiver

A - RECHERCHE DE LA PROBABILITE DE DUREE DES EPISODES SECS -

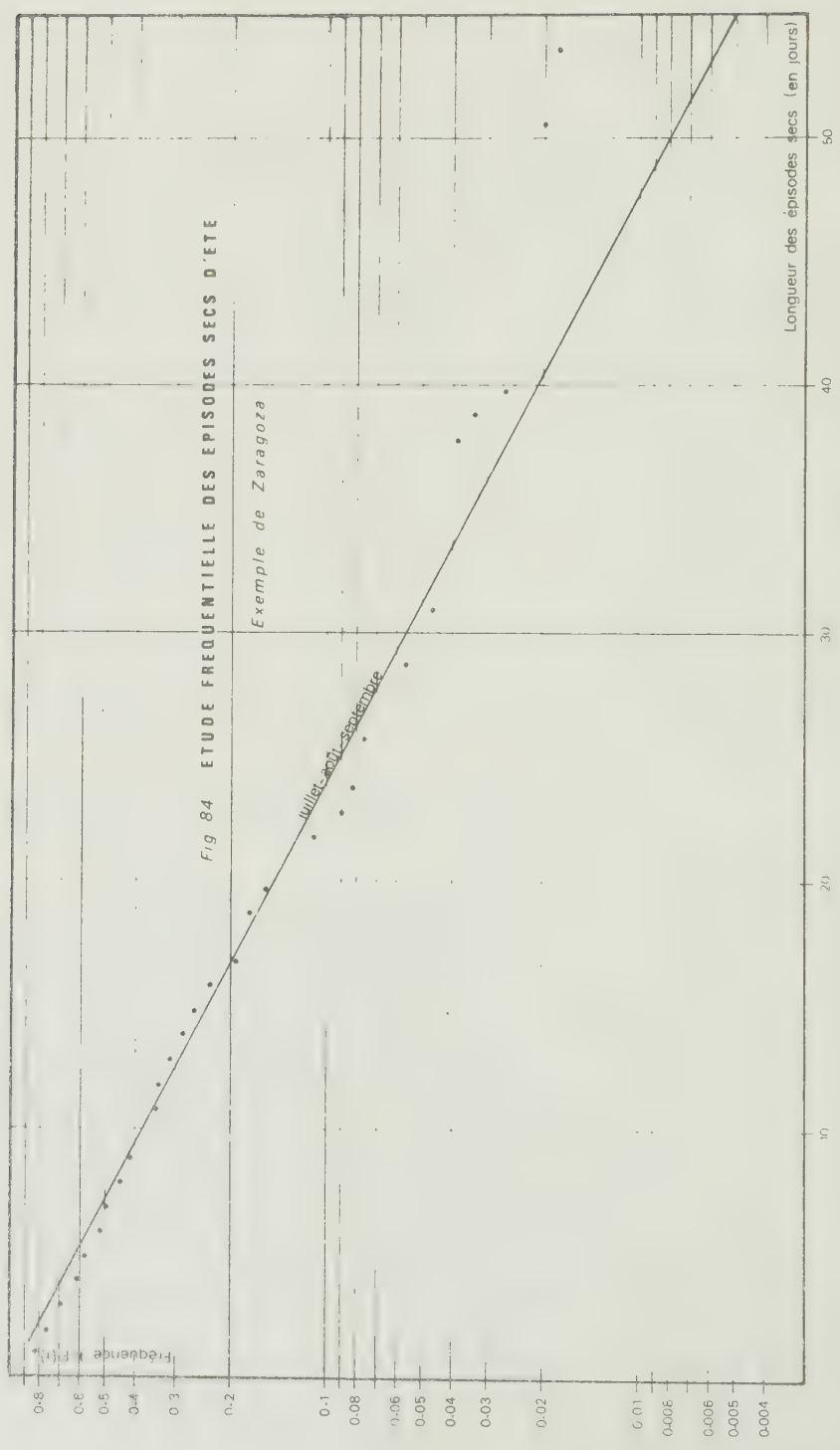
1°/ Etude des épisodes secs d'été :

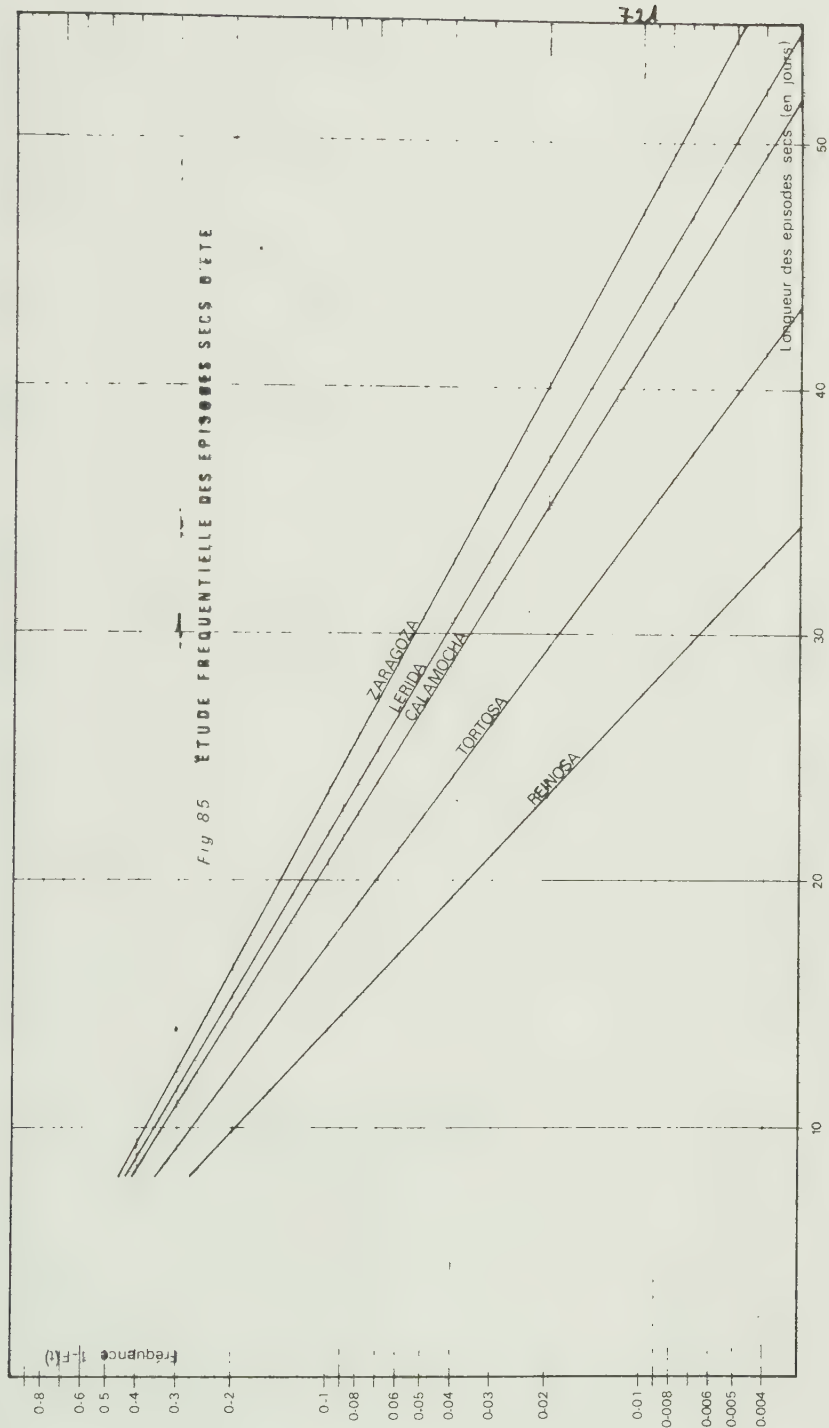
Il s agit ici de savoir, lorsqu'un épisode sec se déclenche, quelle est la probabilité de le voir durer, 5, 10, 20,... 50 jours, et inversement quelle est pour chacune des stations envisagées la longueur minimale de l'épisode sec que l'on a des chances de subir dans 1, 2, 5, 10, 20 pour cent des cas. Dans ce but nous avons d'abord calculé la fréquence expérimentale des épisodes secs à nos cinq stations et nous avons ensuite cherché à ajuster à cette répartition expérimentale une loi statistique. Il est apparu alors que la loi exponentielle donnait dans tous les cas des résultats satisfaisants (voir l'exemple de Saragosse). Cette loi est de la forme $F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\mu}}$, dans laquelle $\mu = \bar{T}$ est la moyenne de durée des épisodes secs. Si la loi est vérifiée, $\mu = \bar{T}$ est voisin de σ .

La lecture des courbes nous a permis de dresser le tableau ci-joint :

TABEAU LIV : DUREE DE L'EPISODE SEC D'ETE POUR DIVERS NIVEAUX DE PROBABILITE (EN JOURS)

I - F (t) Stations	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
Reinosa	27	23	18	14	10
Zaragoza	48	40	31	24	16
Tortosa	34	29	23	17	12
Lérida	43	37	28	22	15
Calamecha	41	35	27	20	14





Ce tableau et le faisceau des courbes obtenues séparent nettement trois domaines :

Un domaine à épisodes secs de courte durée : 14 jours seulement dans 10 % des cas. Il s'agit du haut bassin où prédomine l'influence océanique. Bien que les minima pluviométriques se situent ici très régulièrement en été, on voit que la sécheresse estivale est toute relative. On notera plus loin une correspondance étroite entre la courbe de saison chaude de Reinosa, et la courbe hivernale de Saragosse. La probabilité de durée des épisodes secs est la même à Reinosa en été qu'à Saragosse en hiver !

A l'autre extrémité du faisceau se groupent les droites de Saragosse, Lérida, Calamocha, représentant trois secteurs différents du bassin, mais qui ont en commun une continentalité plus ou moins affirmée. Le classement des courbes, tel qu'il apparaît sur le graphique, souligne d'ailleurs la graduation dans cette continentalité. Saragosse, malgré sa position très intérieure, jouit d'une certaine aération grâce à la vallée de l'Ebre que parcourent selon le cas, les vents de Nord-Ouest ou de Sud-Ouest. Cette aération constitue une gêne pour les mouvements de convection qui se développent au contraire plus fréquemment dans la vallée très abritée de Calamocha ou dans la cuvette de Lérida, rompant ainsi la continuité des longs épisodes de sécheresse estivale.

Entre ces extrêmes, le domaine méditerranéen, représenté par Tortosa occupe une position moyenne. On peut s'étonner de cette relative modération, mais il faut se rappeler la position de Tortosa et du bassin inférieur de l'Ebre, dans l'axe de cette dorsale humide de

Catalogne qui s'étire, un peu en retrait du littoral, du Mont Sègre au Nord, au Mont Nègre au Sud.

2' / Durée des épisodes secs d'hiver :

TABEAU LV: DUREE DE L'EPISODE SEC D'HIVER POUR DIVERS NIVEAUX DE
PROBABILITE (en jours)

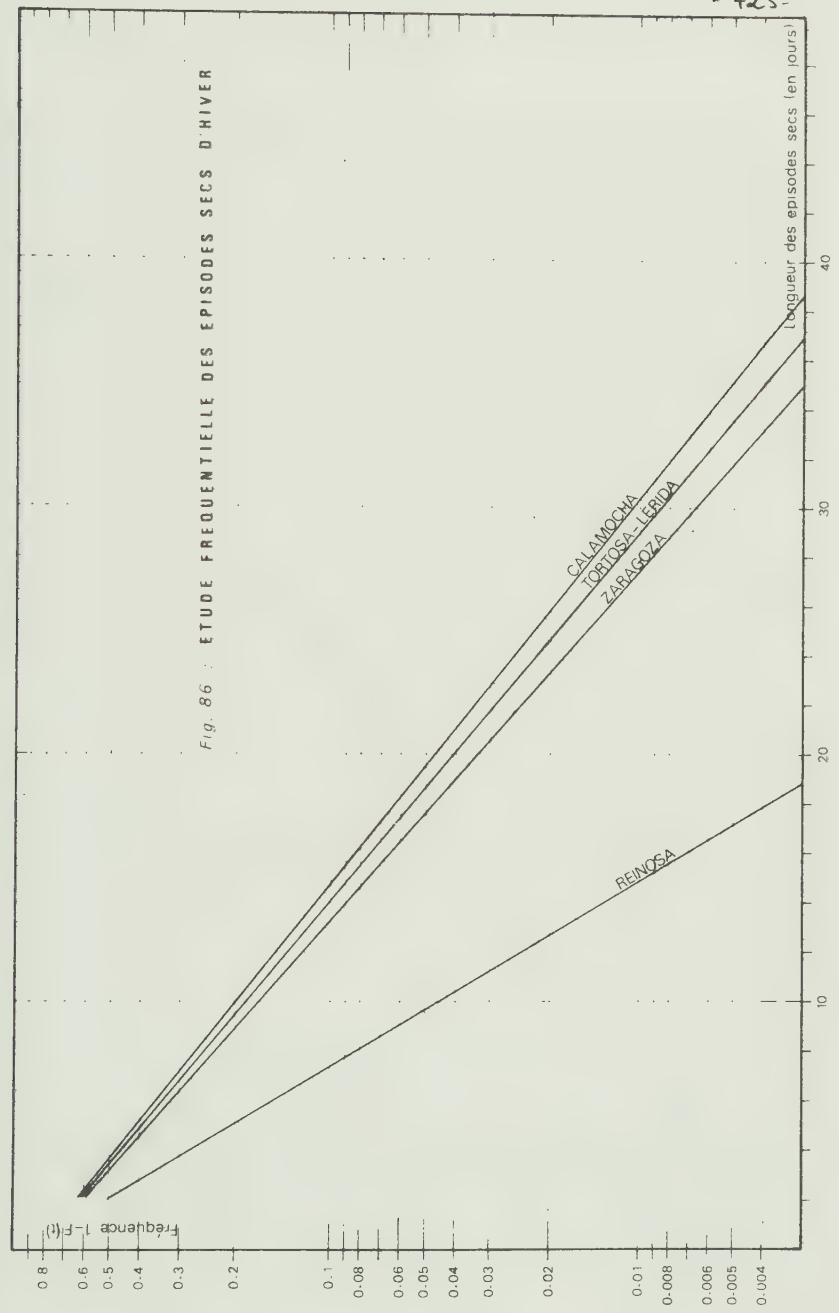
I - F (t) Stations	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
Reinosa	15	13	10	7	5
Zaragoza	28	23	18	13	9
Tortosa	29	25	19	14	9,5
Lérida	29	25	19	14	9,5
Calamocha	31	26	20	15	10

En hiver, le faisceau de courbes s'est rabattu vers la gauche, c'est à dire vers des valeurs plus faibles de la variable, et l'ordre s'est quelque peu modifié. Certes Reinoso reste toujours en deça des stations et a même pris du large par rapport à la situation estivale. Les quatre autres droites se serrent étroitement au point parfois de se chevaucher, mais laissent cette fois la prépondérance à Calamocha qui connaît en hiver de longues périodes de protection lorsque l'anticyclone thermique de la toute proche Meseta ibérique s'installe solidement sur le centre de l'Espagne. On notera en outre, en ce qui concerne Saragosse, une grande translation de la courbe entre l'hiver et l'été. Les épisodes secs d'été sont toujours beaucoup plus longs que ceux d'hiver. Et pourtant l'étude des minima mensuels nous avait montré un certain équilibre entre les deux saisons, en ce qui concerne les lames d'eau enregistrées. On doit en conclure que les pluies d'hiver sont ici le plus souvent des pluies fines, à caractère océanique plus que méditerranéen, de sorte que, malgré leur fréquence relativement élevée, elles ne pèsent pas beaucoup sur le total mensuel. Les pluies d'été sont beaucoup plus rares, mais plus intenses, ce qui est conforme au régime continental de ce secteur.

*B - RECHERCHE DE LA PROBABILITE D'AVOIR K EPISODES SECS DE PLUS DE
 0 JOURS PENDANT LES MOIS DE JUILLET-AOÛT-SEPTEMBRE -*

S'agissant ici de variable discrète, nous avons utilisé pour cette étude la loi de Poisson, de forme : $F(t) = e^{-m} \frac{m^k}{k!}$,
 où K est la variable, c'est à dire le nombre d'épisodes secs d'une valeur donnée (0 jours) et "m" la moyenne de la variable. Nous avons donné successivement à 0 les valeurs 10, 20, 30, 40 et 50 jours et

Fig. 86 : ETUDE FREQUENTIELLE DES EPISODES SECS D'HIVER



calculé la fréquence pour des valeurs de K égales à 0, 1, 2, 3, 4 et éventuellement 5. Les courbes obtenues sont d'allures différentes (voir l'exemple de Saragosse, fig. 87) : décroissantes pour les valeurs élevées de θ , passant par un maximum pour des valeurs plus basses. En effet, la probabilité d'avoir trois épisodes secs de 30 jours est plus faible que celle d'en avoir deux et à plus forte raison une seule. Par contre, il est plus fréquent dans un pays aux étés secs d'avoir deux ou trois épisodes secs de 10 jours ou plus de 10 jours, que d'en avoir un seul.

Le tableau LVI résume pour les cinq stations choisies le résultat de nos calculs. Il montre une fois de plus la supériorité de la dépression aragonaise puis du versant ibérique pour les sécheresses les plus longues, c'est à dire celles dont l'efficacité hydrologique est la plus importante. On constate plus précisément, qu'au niveau des sécheresses de 30 et 40 jours la probabilité d'occurrence est la même à Saragosse et Lérida, un peu plus faible à Calamocha. Mais les plus longues sécheresses, celles qui atteignent ou dépassent 50 jours sont plus fréquentes à Saragosse et Calamocha où leur probabilité est la même que celle des épisodes secs de 30 jours à Reinosa.

C - LES RECORDS DE DUREE DES EPISODES SECS -

1°/ Carte de l'épisode sec le plus long (période 1967-1972):

L'énormité du travail ne nous a pas permis de porter nos recherches au-delà de la période de six ans (1967-1972) pour laquelle nous disposons de publications de chiffres journaliers, portant sur les 500 stations du bassin. Malgré la trop faible longueur de cette série,

727.

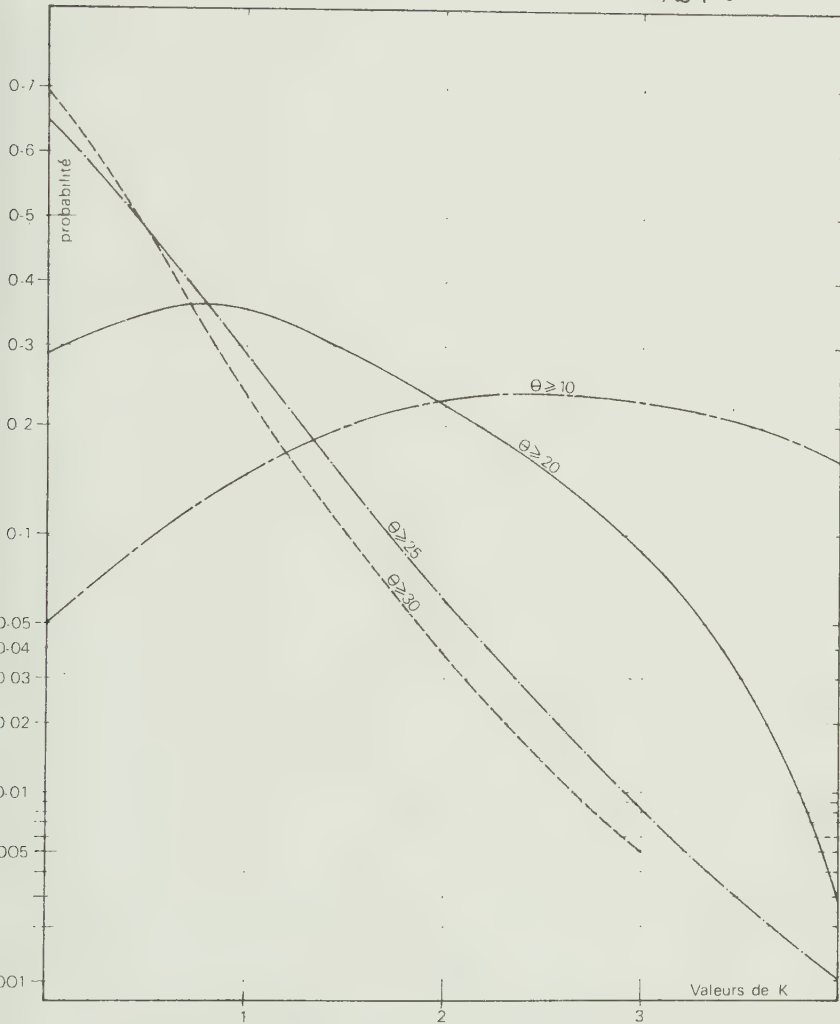


Fig. 8. Probabilité d'avoir K épisodes secs de plus de θ jours à Zaragoza au cours du trimestre Juillet Août Septembre - θ 10-20-25-30

TABLEAU LVI : PROBABILITE D'AVOIR K EPISODES SECS DE PLUS DE θ JOURS PENDANT
LES MOIS D'ETE (Jt - At - Sept).

K Station		0	1	2	3	4	5
Reinosa	θ						
	10	0,11	0,24	0,26	0,19	0,10	0,04
	20	0,67	0,27	0,05	0,006		
	30	0,86	0,13	0,01			
	40	0,905	0,09				
Zaragoza	10	0,048	0,15	0,23	0,22	0,17	0,10
	20	0,29	0,36	0,23	0,09	0,03	
	30	0,70	0,24	0,04	0,005		
	40	0,82	0,16	0,016			
	50	0,86	0,13				
Tortosa	10	0,074	0,19	0,26	0,21	0,14	0,07
	20	0,64	0,28	0,06	0,009	0,001	
	30	0,82	0,16	0,016			
	40	0,95	0,047	0,001			
Calamocha	10	0,074	0,19	0,26	0,21	0,14	0,07
	20	0,40	0,36	0,16	0,05	0,01	
	30	0,70	0,24	0,04	0,005		
	40	0,86	0,13	0,01			
	50	0,86	0,13				
Lérida	10	0,055	0,16	0,23	0,22	0,16	0,09
	20	0,333	0,36	0,20	0,07	0,02	
	30	0,700	0,24	0,04	0,005		
	40	0,820	0,16	0,016			
	50	0,905	0,09				

la carte réalisée à partir de ces documents donne une idée de la durée possible des épisodes de sécheresse, et des zones de plus forte sensibilité à ce phénomène (cf. fig. 88).

On remarquera d'abord l'importance du maximum : plus de 80 jours sans précipitations - près de trois mois - lors de l'hiver 1967 - 68 qui fut, sur le versant méditerranéen, d'une exceptionnelle sécheresse. La zone affectée par cette pénurie apparaît sur notre carte, limitée par l'isoigne de 70 jours qui englobe non seulement la basse vallée de l'Ebre des environs de Caspe à la mer, mais encore le bas-Aragon, au Sud du fleuve et la partie orientale du piémont pyrénéen au nord. Nous ferons toutefois quelques réserves sur ces chiffres. Bien que nous ayons trouvé des valeurs supérieures à 70 jours à une cinquantaine de stations, il demeure étonnant que les dénombrements effectués aux observatoires de Tortosa et Lérida sur une période de 20 ans qui comprend l'hiver 67 - 68, n'aient jamais relevé de séquences aussi élevées. Nous en concluons, soit à une plus grande finesse des instruments utilisés dans les observatoires, soit au fait que nombre d'observateurs locaux aient négligés les pluies très fines, voisines de 0,1 mm.

La Dépression Centrale aragonaise appartient à la zone où la sécheresse approche ou même peut atteindre deux mois. Cette zone se prolonge par la vallée du Jiloca vers les sources du Guadalope et la partie S-E du Système Ibérique. Ce résultat est conforme au dépouillement opéré sur les 20 ans des données journalières à Calamocha et Saragosse et qui donne des maxima respectifs de 62 et 64 jours.

Les régions cantabriques et la crête des Pyrénées ne connaissent, par contre, que des séquences de sécheresse très courtes : 20 jours

au maximum pour les sept années étudiées, mais à Reinsa où nous avons travaillé sur une période de 20 ans, nous avons trouvé un épisode sec de 42 jours, en juillet-août 1949.

Cette carte confirme les observations ponctuelles traduites dans les différents tableaux et graphiques donnés ci-dessus, et nous conduit aux mêmes conclusions à savoir ; possibilité pour une grande partie du bassin, de connaître de très longues périodes de deux mois à deux mois et demi privées de tout apport pluvial. De tels phénomènes ont toujours sur l'écoulement des conséquences catastrophiques. Cette étude nous confirme encore que ces longs épisodes de sécheresse ont tendance à se produire en été sur tout le bassin supérieur et moyen, et sur les Pyrénées, en hiver sur le versant méditerranéen.

Il est intéressant de voir que cette carte ne recouvre pas exactement les cartes de la pluviosité. On remarque en effet une distorsion importante au niveau des régions méditerranéennes où les modules pluviométriques restent honnêtes, et de toutes façons bien supérieurs à ceux de la dépression aragonaise, tandis que les épisodes secs sont au contraire d'une inquiétante longueur. Ce phénomène traduit une fois de plus la concentration des pluies dans ce secteur, concentration qui diminue singulièrement leur efficacité hydrologique

2°/Records de durée des épisodes sans précipitation :

Pour une période beaucoup plus longue, mais pour cinq stations seulement, nous donnons ci-après quelques records en distinguant les épisodes de saison froide et ceux de saison chaude



Fig. 88

DUREE EN JOURS DE L'EPISODE MAXIMUM
DE SECHERESSE
(Période 1967-72)

Saison chaude

Saison froide

Reinosa (1949 - 1971)

<u>P (mm)</u>	<u>Date</u>	<u>P (mm)</u>	<u>Date</u>
42	13 Jt - 25 At 1949	29	21 Ms - 20 Av 1955
40	5 Jt - 15 At 1950	23	31 Jv - 17 Fv 1954
30	2 Jt - 3 At 1953	21	26 F - 20 Ms 1961
		20	22 Jv - 12 Fv 1949

Zaragossa (1949 - 1971)

64	24 Jt - 27 Spt 1964	41	7 Oct - 18 Nov 1949
54	11 Jt - 4 Spt 1954	37	19 Dc - 26 Jv 1954
51	19 Jt - 9 Spt 1965	30	12 Fv - 15 Mas 1953
40	27 At - 6 Spt 1950	28	16 Jv - 14 Fv 1964

Tortosa (1949 - 1971)

40	8 Jn - 29 Jt 1950	54	8 Dc - 1 Fv 1968
36	22 Jn - 28 Jt 1968	39	20 Dc - 29 Jv 1954
34	5 At - 13 Spt 1962	35	31 Jv - 8 Ms 1958
32	12 Jt - 15 At 1954	34	19 Jv - 23 Fv 1962

Lérida (1949 - 1971)

50	7 Jn - 28 Jt 1967	67	6 Jn - 15 Ms 1953
44	23 Jn - 7 Jt 1957	55	22 Jv - 19 Ms 1961
41	10 Jt - 21 At 1966	45	14 Oct - 29 Nov 1953
40	22 Jn - 2 At 1951	38	9 Oct - 19 Nov 1958

Calamocha (1949 - 1971)

62	8 Jt - 9 Spt 1962	57	21 Jv - 20 Ms 1961
60	23 Jn - 23 At 1957	39	7 Oct - 16 Nv 1949
54	11 Jt - 4 Spt 1954	38	18 Nv - 27 Dc 1962
45	14 Spt - 30 Oct 1954	36	5 Jv - 11 Fv 1949

Les conclusions que l'on peut tirer de ces chiffres, sont
sensiblement les mêmes qu'après l'étude de fréquence des épisodes secs.

On notera surtout la grande sensibilité des régions méditerranéennes aux séquences de sécheresse, en particulier en hiver, sensibilité accrue lorsque l'éloignement de la mer ou la position d'abri met une station hors de portée des perturbations atlantiques ou méditerranéennes. C'est le cas de Lérida qui, avec une période de 67 jours sans précipitations mesurables, bat tous les records pour la période 1949 - 1971.

Mais la sécheresse est une donnée complexe, d'ordre synthétique, qui résulte non seulement de la faiblesse de l'apport pluvial mais encore de tous les prélèvements qui peuvent être faits sur cet apport par l'évapotranspiration et par les hommes.

SECTION III - LA PUISSANCE DE L'EVAPOTRANSPIRATION -

Si la pluie est un élément facile à mesurer, il n'en est pas de même de l'évapotranspiration, phénomène complexe faisant intervenir la température d'abord, mais aussi la pression atmosphérique, l'état hygrométrique de l'air, le vent, la végétation, la perméabilité du sol et sa capillarité, sa couleur même, la température de l'eau en voie d'être évaporée, etc... La mesure directe de l'évaporation physique est réalisée en quelques points du bassin par des évaporomètres Piche dont nous donnons ci-joint les résultats.

A - L'EVAPORATION PICHE -

Le tableau LVII confirme une fois de plus l'emprise de la sécheresse sur la vallée moyenne de l'Ebre. L'évaporomètre Piche donne

TABLEAU LVII : EVAPORATION PHYSIQUE MESUREE A L'EVAPOROMETRE PICHE

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Lagorçie	mm	34	36	75	78	90	99	127	118	88	56	34	1863
	%	3,9	4,2	7,5	9	11,4	11,4	14,7	13,7	9,7	6,5	4,9	100
Saragosse	mm	71	90	140	168	195	278	270	242	186	136	88	1886
	%	3,7	4,7	7,3	8,9	10,3	12	14,3	13,3	9,8	7,2	4,9	100
Tortosa	mm	9,6	104	105	123	118	141	164	146	120	105	96	1444
	%	6,8	6,8	7,3	7,5	8,7	10	11,6	10,3	8,5	7,4	6,8	100
Bouches-du-Rhône	mm	58	35	98	129	138	189	273	229	134	119	82	1603
	%	3,6	4,7	6,1	8,4	8,6	11,6	17,1	14,3	9,6	7,4	5,1	100
Bassin du TAGE	mm	60	67	70	123	115	180	235	213	149	131	93	1482
Castelo-Douro	mm	48	62	52	86	71	115	143	125	83	84	58	958
Figueira-GUADIANA	mm	83	92	118	166	217	217	252	265	183	187	154	1936

A titre de comparaison on a mentionné sur ce tableau les valeurs d'évaporation dans les Bouches-du-Rhône (d'après J. Sanson) dans trois autres bassins ibériques (d'après H. Vivian, 1966).

pour Saragosse une évaporation annuelle de 1886 mm tandis que le module pluviométrique n'est que de 328 mm. Le déficit est donc considérable, en particulier de mai à septembre, tandis que le froid hivernal qui est assez vif ici fait tomber ces valeurs à des niveaux un peu plus proches de la pluviométrie. On conçoit ainsi la nécessité absolue d'une irrigation. Sans elle, la vie agricole serait réduite à une culture céréalière de "secano" à la merci des pluies d'automne et de printemps, lesquelles peuvent faire défaut lors des années de grande sécheresse. Alors le blé ne lève plus si la pénurie a lieu en automne, ou sèche sur place, si c'est le printemps qui est déficitaire.

Le bilan est beaucoup moins grave à Tortosa où les pluies sont plus importantes, et l'évaporation plus faible et mieux répartie. Plus étonnante est la comparaison entre cette région voisine du delta et le bas-Rhône dont les valeurs d'évaporation données par J. Sanson permettent d'évoquer la situation. En effet, non seulement les pluies sont plus importantes à Tortosa, mais l'évaporation est inférieure de quelques 250 mm. Ce phénomène s'explique aisément si l'on songe à la position de la côte catalane par rapport au centre de cyclogénèse des Baléares, et à l'atténuation des vents de secteur Nord au pied de la cordillère cotière.

Le faible équipement du bassin en évaporomètres ne permet malheureusement pas de pousser plus loin notre analyse. On est donc contraint à une approche de la réalité par des voies détournées, c'est à dire par l'utilisation des indices. L'un d'entre eux correspond bien à nos perspectives, bien que certains chercheurs aient fait parfois quelques réserves sur son emploi en pays méditerranéen : il s'agit de

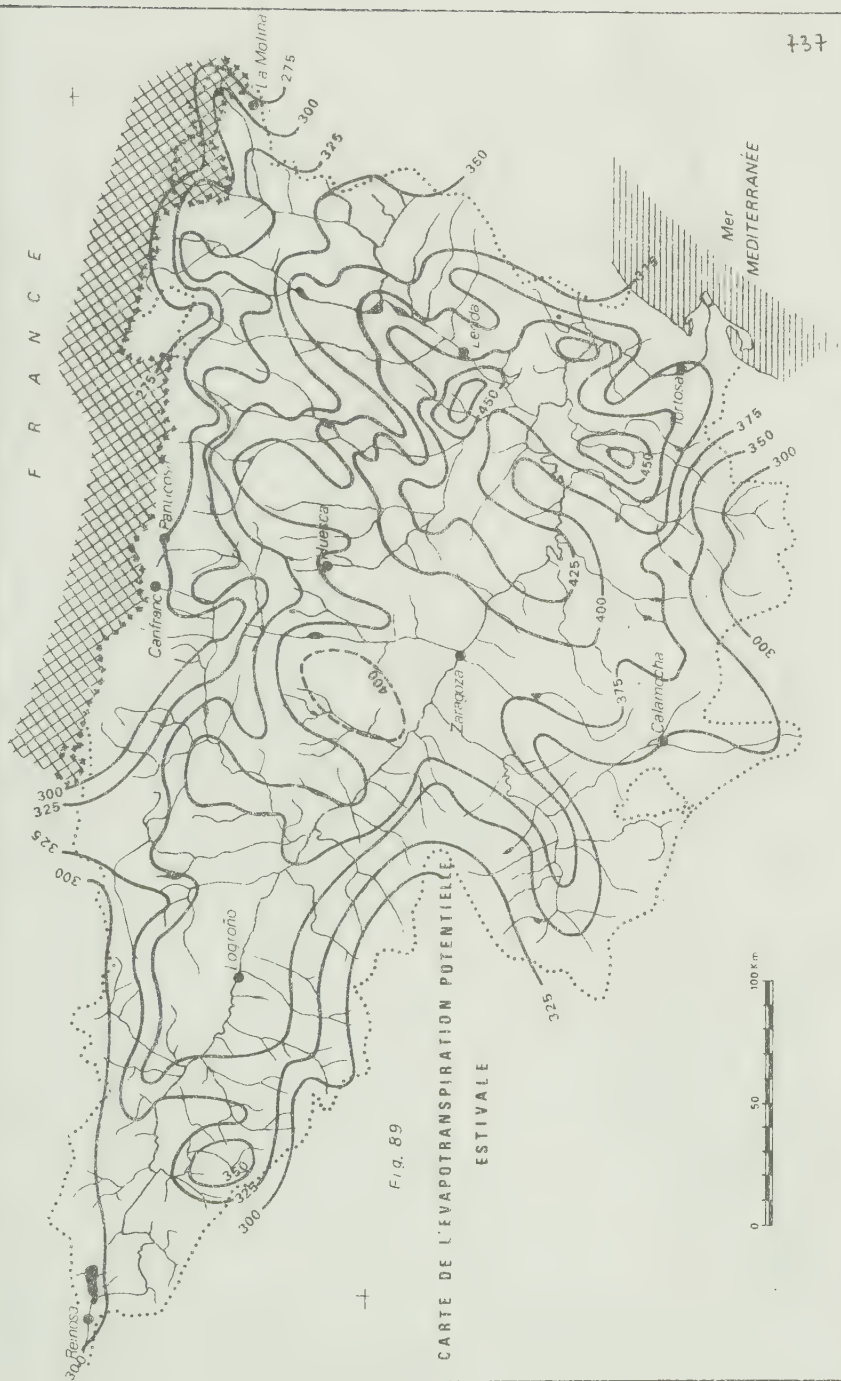
l'indice de Thornthwaite dont on a déjà vu l'application au problème des bilans hydriques annuels.

B - L'IMPORTANCE DU DEFICIT HYDRIQUE -

Dans le cadre de cette étude sur les étiages et les sécheresses, nous nous intéresserons seulement aux bilans estivaux puisque l'étiage en l'a vu, à l'exception des rivières nivales, est surtout un phénomène estival.

1° / L'évapotranspiration potentielle estivale :

La carte ci-jointe (cf. fig. 89) montre non seulement l'intensité du phénomène, mais aussi l'extension de la zone de plus forte évapotranspiration. Celle-ci s'organise de part et d'autre d'un axe moyen - Mattarrana - cuvette Léridane, s'étire au Nord, vers la région de Tremp sur la moyenne Pallaresa, et couvre la vallée de l'Ebre depuis l'aval de Saragosse jusqu'à la racine du delta. On retrouve dans cette aire les zones réputées les plus arides du bassin : les Monegros, la Litera, les Llanos de Urgel, le bas Aragon. A partir de ce noyau, les isolignes dessinent des courbes plus ou moins concentriques qui s'étirent d'une part vers la haute vallée de l'Ebre, d'autre part vers le haut Jiloca, enfin vers la Cerdagne et la haute Pallaresa, soulignant ainsi la profonde pénétration de la sécheresse au coeur des vallées pyrénéennes et du Système Ibérique. Le plus remarquable, c'est que, presque partout, les valeurs de l'évapotranspiration sont bien supérieures à celles de la pluviosité, traduisant ainsi un déficit estival considérable.



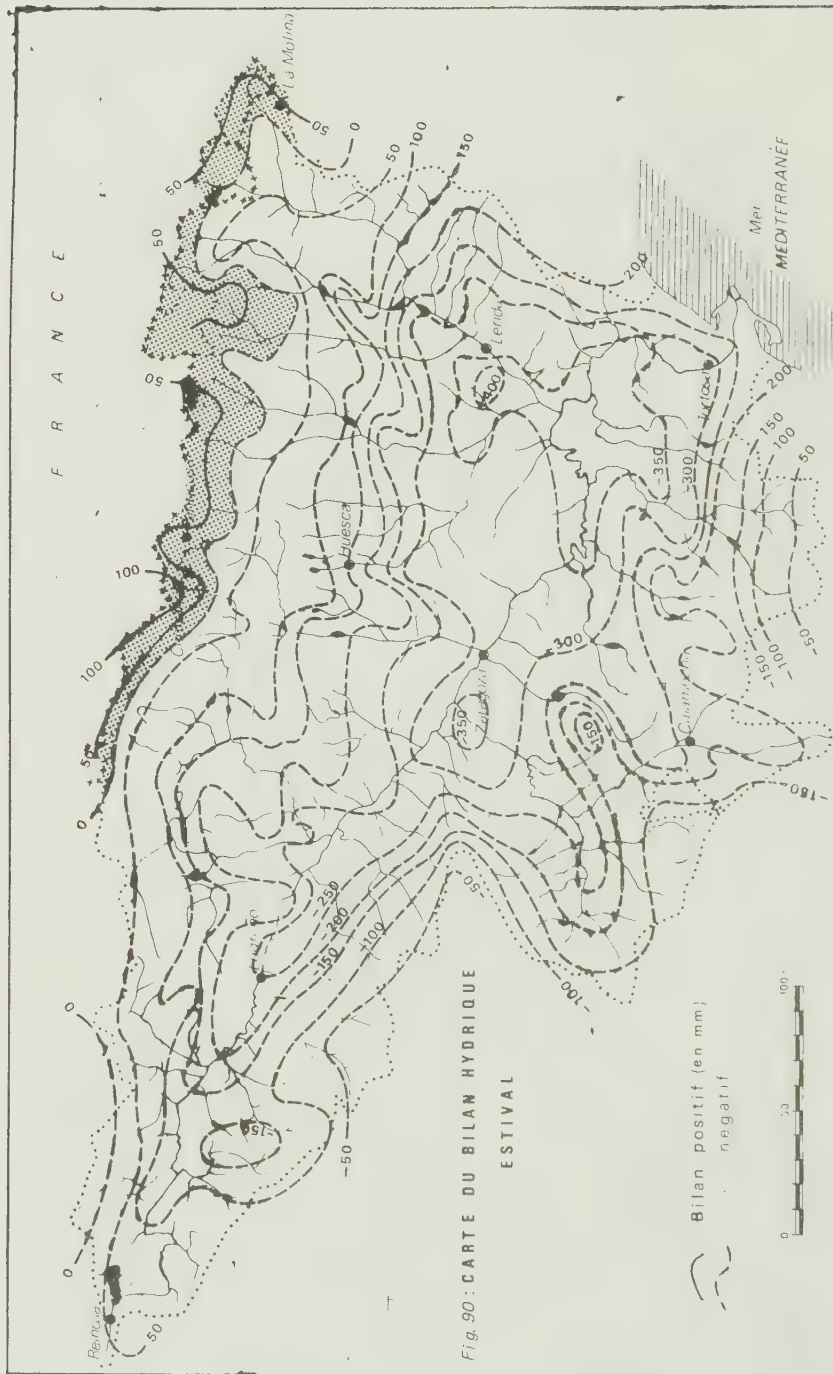


Fig. 90 : CARTE DU BILAN HYDRIQUE
ESTIVAL

2°/ Le déficit estival :

On retrouve sur la carte du déficit (cf. fig. 90), la même allure des courbes, la même gradation dans les régions défavorisées. Nous attirerons ici l'attention sur deux points seulement : l'étroitesse du secteur à bilan positif et la profondeur du déficit dans la cuvette centrale. Dans ce vaste bassin versant étiré pourtant jusqu'aux confins du monde atlantique, seule une étroite bande correspondant à la crête des Pyrénées entre le col de Roncevaux et le col de la Perche, garde un bilan positif. Dans cette bande, deux noyaux de maxima se dessinent, l'un au niveau du haut Aragon, l'autre sur le haut Flamisell, au sud du Val d'Aran. Il est intéressant de souligner que la seule région qui reste excédentaire jusqu'au coeur de l'été, soit aussi celle qui dispose des réserves nivales les plus importantes, lesquelles seront distribuées aux rivières peu à peu, au long de la saison chaude. On devine alors quel rôle essentiel joue ce secteur dans l'hydrologie estivale: un rôle bien supérieur à celui de la montagne cantabrique et à plus forte raison ibérique.

SECTION IV - CAUSES TECHNIQUES DES ETIAGES : LES IRRIGATIONS -

Il n'est pas question de traiter ici des irrigations en général. C'est là un thème qui pourrait faire l'objet d'une vaste thèse. Tout au plus aurions-nous aimé évaluer l'impact des irrigations sur les étiages. Malheureusement, s'il est encore possible de déterminer le rôle de la consommation d'eau dans le bilan annuel, il devient problé-

matique , pour un bassin aussi vaste et aussi bien équipé, de descendre à l'échelle saisonnière. Deux démarches restaient à notre portée : d'abord calculer la capacité totale de dérivation des 20 canaux d'irrigation répertoriés, ensuite prendre un exemple précis pour essayer de voir au moins les mécanismes.

A - LA CAPACITE DE PRELEVEMENT PAR LES CANAUX D'IRRIGATION :

Il faut d'abord attirer l'attention sur les deux types d'ouvrages qui apparaissent sur la carte des canaux : les canaux d'irrigation proprement dits, chargés de distribuer l'eau aux différentes rigoles d'arrosage, et les ouvrages de transvasement tel celui d'Ardisa à la Sotonera dont le but est de prendre l'eau sur une rivière pour aller la mettre en réserve dans un bassin construit sur un autre cours d'eau, où elle est emmagasinée en vue de la prochaine campagne d'irrigation. Ces canaux fonctionnent essentiellement en hiver et au printemps, au moment de la mise en charge des retenues et par conséquent ne nous intéressent pas ici. Il existe dans le bassin un troisième type de canaux qui ne nous intéressera pas davantage. Il s'agit des conduites d'approvisionnement des usines hydroélectriques, lesquelles restituent aussitôt, sans consommation, les eaux dérivées.

En ce qui concerne les canaux d'irrigation, nous avons retenu dans le tableau XXVIII seulement ceux qui apparaissent sur les annuaires. Faute de données, nous avons dû malheureusement passer sous silence, la multitude des petites rigoles qui, au long de rivières comme le Jalon dérivent des quantités d'eau difficiles à apprécier, mais qui, dans l'ensemble, doivent être considérables et jouent sur les étiages un rôle

décisif. Par contre les renseignements concernant les canaux répertoriés, nous ont permis de calculer la capacité maximale de déviation de ces ouvrages. Elle s'élève à 236 m³/s; mais ce chiffre appelle un certain nombre de réflexions. Il résulte d'abord d'une somme de valeurs qui ne sont pas forcément atteintes tous les ans. Sans doute, les variations dans le débit maximum des canaux d'une année à l'autre, ne sont-elles pas considérables, mais il fallait les signaler. Ensuite, ce débit maximum n'est pas atteint partout au même moment. Il est vrai là aussi qu'en juillet, août et début septembre, période où se placent les étiages les plus profonds du fleuve, les irrigations battent leur plein presque partout. Enfin, il ne faut pas oublier qu'une petite partie de ces débits est restituée aux rivières par les canaux de retour. Ces eaux rendues aux rivières représentent essentiellement l'écoulement des terres après l'arrosage, et éventuellement, les débits non utilisés. Là encore, l'ensemble de ces restitutions représente peu de choses. Compte tenu de ces différentes réserves, c'est donc 200 m³/s, soit près de 1/3 du module qui sont en moyenne prélevés sur le fleuve durant la période la plus chaude de l'année. Mais le calcul auquel nous nous sommes livrés ne nous donne pas pour autant une idée de l'étiage naturel, puisque ces débits sont prélevés beaucoup plus sur les réserves des bassins que sur l'écoulement estival. C'est pourquoi il convenait d'étudier plus profondément la marche des phénomènes à partir d'un exemple précis.

B - BILANS IRRIGATIONS - RESERVES AU COURS DE L'ETE 1969 -

Nous avons choisi de travailler sur cet été 1969, d'abord

parce qu'il est inclu dans la nouvelle série d'annuaires qui, depuis 1966 - 67 donne des renseignements plus complets en ce qui concerne les canaux et les retenues, ensuite parce que cet été là se présente du point de vue climatique et hydrologique sous des aspects point trop éloignés de la "normale". Le bilan a été réalisé pour la station de Tortosa et pour les trois/de juillet, août et septembre qui comprennent généralement tous les minima du fleuve : Qe, Qm (10), Qm (20) et QmM. Ces bilans sont résumés dans le tableau ci-après qui fait apparaître, au passif, les débits consommés soit, les débits dérivés par les canaux moins ceux qui sont restitués à la rivière un peu plus bas. On notera d'ailleurs que le dernier chiffre est sous-estimé car nous ne disposons malheureusement de données que pour trois canaux : ceux de Lodosa, Imperial d'Aragon et Aragon et Catalogne. A l'actif du bilan, nous avons les débits pris sur les réserves des cinquante retenues réparties dans le bassin versant. Là encore, nous avons dû tenir compte du fait que certains petits bassins de haute montagne retiennent encore en juillet, voire en août, une part de l'écoulement.

Le bilan résulte de la différence entre ^{les} débits pris sur les réserves et les débits consommés

Juillet 1969

<u>Débits des canaux</u>	<u>Débits des bassins</u>
Débits dérivés..... 216,43 m3/s	Débits pris sur la réserve..... 131,51 m3/s
Débits restitués..... 0,40 "	Débits retenus..... 6,11 "
Total consommé..... 216,03 "	Total restitué..... 125,40 "

Bilan : - 90,63 m3/s

Août 1969

<u>Débites des canaux</u>		<u>Débites des bassins</u>	
Débites dérivés.....	213,17 m ³ /S	Débites pris sur réserves : 196,70 m ³ /s	
Débites restitués ..	0,45 "	Débites retenus.....	1,10 "
Total consommé ..	212,72 "	Total restitués.....	95,60 "
Bilan :-17,12 m ³ /s			

Septembre 1969

Débites dérivés.....	185,30 m ³ /s	Débites pris sur la réserve	89,89 m ³ /s
Débites restitués ..	5,78 "	Débites retenus.....	36,02 "
Total consommé ..	179,52 "	Total restitués.....	5,78 "
Bilan : - 21,13 m ³ /s			

Ainsi les eaux utilisées par les hommes au cours de l'été 1969, soit 180 à 220 m³/s selon les mois, ont été prises en partie sur les réserves constituées au cours de l'hiver et du printemps précédent, en partie sur les écoulements des rivières. Cette proportion s'est élevée à 90 m³/s en moyenne en juillet, 17 m³/s en août et 127 m³/s en septembre, malgré des besoins moins importants, mais les réserves ayant baissé, il a fallu demander davantage aux rivières. Comme c'est là un fait courant, il arrive de voir l'étiage réel retardé par rapport à l'étiage naturel. Il n'en a pas été ainsi au cours de la période étudiée. La reconstitution des minima naturels réalisée en ajoutant au minimum réel le montant des bilans calculés ci-dessus a donné 173 m³/s pour juillet, 113 m³/s pour août. L'étiage naturel se serait donc situé cette année là un peu plus tard que l'étiage réel, en août.

au lieu de juillet

A titre de comparaison, nous avons fait le même travail pour l'été 1968, nous le résumons ci-dessous :

Juillet 1968

Août 1968

Consommation.....	205,6 m ³ /s	:	Consommation ..	195,8 m ³ /s
Pris sur les réserves...	122,4 "	:	Pris sur les réserves 81,1 "	
Bilan.....	- 83,2 "	:	Bilan.....	- 114,7 "

Le calcul de ce bilan nous permet d'évaluer l'étiage réel. Celui-ci, en ce qui concerne le Qm (10) se serait élevé en l'absence d'ouvrages d'aménagement à $116,5 \text{ m}^3/\text{s} + 83,2 \text{ m}^3/\text{s} = 200 \text{ m}^3/\text{s}$ et la date n'aurait pas été changée.

En conclusion, si à l'aval des retenues, les étiages semblent le plus souvent retardés de quelques semaines, il n'en est pas de même sur l'Ebre inférieur où se conjuguent les influences des barrages et des prises d'eau qui, elles, tendraient plutôt à ramener les minima vers le cœur de la saison chaude, qui est l'époque de consommation maximale. C'est pourquoi, il semble qu'à Tortosa : il ne doive pas y avoir de différence considérable entre la date des étiages réels et celle des phénomènes naturels. Par contre les valeurs de ces deux phénomènes sont très différentes. En l'absence de barrages et canaux, les Qm (10) de l'Ebre inférieur en 1968 et 69 auraient valu respectivement 200 et 146 m³/s contre les 116 et 129 m³/s mesurés effectivement à Tortosa. C'est à dire que l'homme entre respectivement pour 40 % et 12 % dans l'explication des phénomènes, et même beaucoup plus si l'on pouvait tenir compte non seulement des irrigations sauvages mais encore de toutes les actions indirectes bien difficiles à évaluer : par exemple l'évaporation à la surface des nappes d'eau artificielles.

C H A P I T R E I I I

SECHERESSES ANCIENNES ET RECENTES DANS LE BASSIN DE L'EBRE

Si la sécheresse est un phénomène normal dans le bassin de l'Ebre, et qui se manifeste régulièrement tous les étés, son intensité et sa gravité, sont éminemment variables comme tous les faits d'ordre météorologique en général. Certains étés, certaines années, voire séries d'années, ont été plus durement atteints, et par suite des graves perturbations que ces calamités atmosphériques ont apporté dans la vie des hommes, l'histoire en a gardé le souvenir, un souvenir plus ou moins fidèle en fonction de l'éloignement des faits dans le temps, et de leur importance.

SECTION I - LES SECHERESSES DANS LE PASSE -

Nous en retrouvons la trace dans les écrits des historiens et d'une façon générale, des écrivains anciens, latins en particulier, puis dans diverses chroniques du Moyen Age ou d'époques plus récentes.

Mais il est une source particulièrement intéressante dans ce domaine : la relation des processions rogatives destinées à demander la pluie. A Saragosse, dans les cas de forte sécheresse, une coutume remontant dans la nuit des temps voulait que l'on sortît en procession le Santo Cristo de la cathédrale de la Seo. Mais il fallait pour cela l'autorisation de l'archevêque de Saragosse, autorisation qui était accordée difficilement. On est donc assuré, lorsque ces processions sont célébrées, d'avoir affaire à un phénomène exceptionnel. Ces diverses sources ont déjà été dépouillées par différents auteurs parmi lesquels l'ingénieur des Mines H. Bentabol (1900), l'ingénieur des Ponts et Chaussées J. R. Marquina (1949), et H. Bayerri (1935) pour son "Historia de Tortosa". Les faits, mis à jour par ces auteurs ont été ensuite complétés et rassemblés par le Père Ignacio Puig (1949), dans un petit opuscule sur les pluies et sécheresses qui nous a servi de fil conducteur, pour remonter dans l'histoire de ces phénomènes atmosphériques.

A - LES SECHERESSES DANS L'ANTIQUITE ET LE MOYEN-AGE -

Pour ces périodes reculées, les indications sont toujours très vagues et sujettes à caution. Toutefois, lorsqu'on peut faire des recoupements entre plusieurs auteurs, on a de bonnes chances de se trouver devant un fait authentique. D'autre part la sécheresse étant toujours un phénomène plus étendu que la pluie, on peut souvent à partir de données fragmentaires, se hasarder à de prudentes extrapolations. Ainsi lorsque les textes espagnols mentionnent une grave sécheresse en Castille et que des textes français nous signalent le même phénomène sur l'ensemble du midi méditerranéen, ou même de l'Europe occidentale, on est à peu près certain que le bassin de l'Ebre s'est trouvé lui aussi affecté.

La plus ancienne sécheresse dont l'histoire ait gardé le souvenir nous est rapportée par Diodore de Sicile, historien latin qui vivait sous le règne d'Auguste. Elle eut lieu en 2030 avant Jésus Christ et fut si sévère nous

dit cet auteur qu'elle dépeupla en partie le pays. Des études postérieures semblent démontrer que cette calamité affecta surtout la côte méditerranéenne, et épargna en partie au moins les pays cantabriques.

- Une chronique plus ou moins apocryphe rapporte que durant l'été 1059 avant Jésus-Christ, la plupart des grands fleuves espagnols s'asséchèrent à l'exception de l'Ebre et du Guadalquivir, réduits à l'état de ruisseaux. Ce phénomène aurait été la cause d'une émigration massive vers la Gaule, l'Italie, la Grèce.

- Un semblable mouvement d'émigration, dû à une longue sécheresse de 26 ans terminée en 930 avant Jésus-Christ, aurait jeté hors du pays un grand nombre d'Ibères ainsi obligés d'émigrer vers la Narbonnaise, l'Italie, la Grèce, l'Afrique et même la Tracie et l'Asie. Les faits sont rapportés par le chroniqueur Rodrigo Mendez Silva dans son *Historia royal et généalogique d'Espagne* de 1644. Et l'auteur d'ajouter que seuls restèrent les gens de Galice, Asturies, pays cantabriques et Pyrénéens.

- Plus digne de foi semble être la réédition par Diodore et d'autres auteurs, d'une autre période sèche qui affligea l'Espagne pendant 26 ans de 224 à 198 avant Jésus-Christ. On sait de bonne source que effectivement, en 215 avant Jésus-Christ, les armées romaines stationnées à Tarragone eurent à souffrir de la famine.

- A nouveau en 75 avant Jésus-Christ, de mauvaises récoltes consécutives à une grave sécheresse qui dut affecter aussi les Gaules, entraînèrent pour les armées de Pompée stationnées au Nord de l'Espagne, de sérieuses difficultés d'approvisionnement.

Sur les quatre premiers siècles de notre ère, nous n'avons au-

une indication concernant les faits qui nous occupent. Il faut attendre le Vème siècle, plus précisément l'année 410 pour trouver dans le "Cronicon de Idacio", l'allusion à une grande sécheresse qui affola la péninsule et fut surtout sévère pour dit-on dans le bassin du Douro et la Galice. Dans ce cas, nous pensons qu'elle atteignit aussi le haut, et peut-être le moyen bassin de l'Ebre.

- Autour de 680, une famine consécutive à plusieurs années sèches dépeuple le Centre de l'Espagne.

- Au début du VIIIème siècle selon les uns, entre 707 et 709 selon les autres, la population fut à nouveau déimée par suite de sécheresses et le royaume perdit nous dit-on la moitié de sa population. Une calamité semblable devait accompagner un peu plus tard, entre 740 et 750, l'arrivée en Espagne de la dynastie des Omeyyades.

- 31 ans de déficit pluviométrique ont affecté l'Espagne au milieu du IXème siècle, de 846 à 877, mais plus particulièrement en 873, année au cours de laquelle les sources s'asséchèrent, les céréales ne purent germer convenablement, la vigne et les arbres fruitiers séchèrent sur pied tandis que le bétail mourait de soif, faute d'eau pour remplir les abreuvoirs. Cette calamité ne fut d'ailleurs pas antérieure en Espagne, puisque d'autres textes nous apprennent qu'en 846 et 877 la sécheresse fut générale en Europe. Il faut entendre par là, en Europe occidentale.

- En 901, le Douro peut-être franchi à pied à Zamora, ce qui suppose un fort déficit hydrométrique sur toute la vieille Castille et sans doute aussi une partie du bassin supérieur et moyen de l'Ebre.

- En 982, les semailles ne purent avoir lieu en Espagne faute de pluie.

- Quelques années plus tard, ce XIème siècle, qui devait se révéler si fécond dans l'histoire de l'humanité s'ouvrait sur la fameuse sécheresse de l'an 1000 qui se fit sentir sur toute l'Europe, asséchant les rivières et provoquant une grande mortalité. On imagine aisément que les populations de la chrétienté qui avaient vécu la fin du premier millénaire dans la hantise de l'an mille, durent accueillir cette calamité comme un signe de la fin des temps.

- Nous n'avons relevé pour le XIIème siècle, qu'une seule sécheresse, celle de 1172 qui affecta l'Espagne et l'Europe.

- En 1213, l'absence de pluie, générale en Europe, fut particulièrement grave en Espagne au printemps. Survenant après les fortes gelées qui affectèrent le centre de la péninsule, elle interdit toute récolte de céréales. De sorte que les croisés qui venaient de vaincre les musulmans à las Navas de Tolosa, durent pour subsister, sacrifier leurs animaux familiers.

- Pendant l'hiver 1257-58, les habitants de la province de Castille organisent des processions rogatives pour demander la pluie.

Le XIVème siècle débuta en Europe sous le signe de la sécheresse. Celle-ci fut particulièrement grave en 1302, où elle provoqua en Castille la famine et la peste, et surtout en 1303 ou 1304 (selon qu'on se réfère aux textes français ou espagnols). Cette année là, la sécheresse s'étendit sur l'Espagne et une partie de l'Europe Occidentale, accompagnée de chaleurs exceptionnelles. Sa gravité fut telle que la Seine, la Loire, l'Oise, sont à sec et le Rhin assez bas pour qu'on puisse, entre Bâle et Strasbourg, le passer à pied en de nombreux endroits.

Cette sécheresse du début du XIV^{ème} siècle eut dans la région qui nous occupe une conséquence inattendue : la ruine des passeurs chargés d'exploiter le péage de Balaguer. En effet, le Sègre étant souvent très bas, il était possible de le franchir à gué en évitant ainsi d'avoir à s'acquitter d'un droit de péage.

- En 1335 la Castille et la Galice sont affligées par une grave pénurie d'eau. Le bassin de l'Ebre est donc très certainement affecté qui aussi y compris tout l'amont.

- L'année 1355 fut l'une des plus sèches que l'Espagne ait connue jusqu'alors. Mais comme cette année est isolée au milieu d'une série humide, les conséquences économiques et humaines de cette fantaisie atmosphérique ne furent pas très graves.

- Il n'en fut pas de même à la fin du siècle, à l'époque de Jean I d'Aragon (roi de 1387 à 1395). La région de Tortosa eut alors à souffrir d'une grande sécheresse qui stimula le désir d'utiliser les eaux de l'Ebre pour l'irrigation. De cette catastrophe semble être née l'idée de l'Azud de Cherta qui ne fut toutefois réalisé qu'en 1440.

- En 1473, l'automne fut si sec que les semailles ne purent se faire qu'en décembre. Nous savons qu'en France, cette année là, la sécheresse dura plusieurs mois, accompagnée de chaleurs "extraordinaires", terribles et intolérables", et elle fut si générale en Europe que, au dire des historiens, elle "s'étendit à presque toute la terre". En Espagne, elle devait se poursuivre encore l'année suivante, en 1474, provoquant de forts mauvaises récoltes, tandis que d'août 1475 à octobre 1476 tout au long de ces quinze mois, on devait enregistrer nous dit-on, deux épi-

sodes pluvieux seulement. Ces années là, en particulier, en 1476, la sécheresse règne aussi en France. On peut donc conclure que l'Europe Occidentale a connu de 1473 à 1476 une période de pénurie généralisée.

- En 1489, les trois premiers mois de l'année sont très secs dans toute l'Espagne, mais surtout sur la côte méditerranéenne.

- 1496 fut une année extraordinairement sèche dans la province de Saragosse. Ce fut à cette occasion que le premier Juré de la ville Don Martin de la Raga, proposa au conseil dans sa séance du 6 juillet 1496, la création d'un canal dérivé de l'Ebre pour l'irrigation de la circonscription de Almozara. Bien que l'idée ne fut pas nouvelle, et data de plusieurs siècles, c'était la première fois que l'on parlait sérieusement de cette construction, pour laquelle furent nommés immédiatement des délégués chargés d'enquêter sur l'emplacement de la prise d'eau. On sait que l'oeuvre commencée en 1528 devait s'achever en 1784 seulement.

B - LES SECHERESSES QUI AFFECTERENT LE NORD DE L'ESPAGNE DURANT LES TEMPS MODERNES -

- Le début du XVIème siècle fut affligé de plusieurs années sèches :

- en 1503 c'est la Castille qui eut le plus à souffrir.

- L'année 1506 est connu en Espagne comme "l'année de la faim". La sécheresse fut générale en effet et un peu partout les rivières et les sources s'asséchèrent et il fallut importer du blé de Sicile et de Russie. Le déficit dut être surtout hivernal puisque selon E. Le Roy Ladurie (1967) il y eut en Catalogne plus de 40 jours de rogations au cours de cet hiver.

- Diverses sources mentionnent pour 1513 une sécheresse en

Castille qui dura jusqu'à la fenaison, et trois mois sans pluie en France, Le bassin de l'Ebre fut donc très certainement concerné.

- L'automne 1538 fut très sec en Castille et sans doute dans tout le centre du pays, et l'année suivante, la famine sévit en particulier à Salamanque.

- En 1556, une grande sécheresse accompagnée de fortes chaleurs sévit sur toute l'Europe occidentale. Aucune pluie ne tombe sur la Loire de mars à novembre.

- Si l'on en croit le nombre de jours de rogations en Catalogne, 1583 et 1584 ont été sur le bassin inférieur de l'Ebre les années plus sèches de ce siècle. Et cette pénurie a été surtout hivernale et printanière.

- Les années 1594-95-98, sont caractérisées par des pluies particulièrement déficitaires au Portugal et dans les provinces de Zamora et de Galice, soit l'Ouest de la Péninsule Ibérique. Il semble donc qu'on ait affaire à un phénomène affectant les pays de nuance atlantique. Le haut bassin de l'Ebre, a donc très certainement été concerné.

- En 1612-15-16, des processions rogatives ont lieu à Salamanque. Les textes qui signalent ces événements ne disent rien sur la situation en Navarre et Aragon ni en Catalogne. Mais nous avons trouvé pour la France des renseignements concernant l'été 1612 qui fut très chaud en Saintonge et dans le Nord. De même nous savons qu'en 1615 aucune pluie importante ne fut signalée dans l'Est, de Pâques jusqu'à la mi-septembre. On peut donc supposer que la sécheresse au cours de ces deux années eût une grande extension en Europe occidentale et que par conséquent le bassin de l'Ebre eût à en souffrir lui aussi. Quant à l'année 1616, elle fut

~~"sèche aussi"~~ en Castille où le Pisuerga à Valladolid était presque à sec, ce qui suppose un grand déficit en amont, dans la province de Burgos. Là encore, on peut extrapoler et considérer que l'Ebre supérieur qui coule dans cette province pratiquement de la sortie du "Pantano" de l'Ebre jusqu'à Miranda connaît lui aussi cette année là, un grave déficit.

- En 1617, une terrible sécheresse s'abat sur les Baléares et tout le littoral méditerranéen. Les puits s'assèchent et le Turia à Valence, ne coule plus. Il s'agit là, d'un aspect particulier d'un phénomène très étendu qui affecta une partie de l'Europe

- De 1620 à 1635, une longue sécheresse interrompue par quelques inondations affecte le Sud de l'Espagne. Qu'en est-il de la région qui nous occupe ? Les textes ne nous apportent rien de précis à ce sujet, mais on sait que, à l'intérieur de cette période, certaines années sont sèches aussi en France, par exemple 1622 où des processions eurent lieu dans le Centre et l'Est pour demander la pluie, 1623 où l'on enregistra cinq semaines de très fortes chaleurs dans le Sud-Est et l'Est, tandis que, dans les derniers jours d'août de cette même année, la Loire n'avait que 33 pieds de large au niveau de Feurs. Pendant ces deux années au moins : 1622 et 1623, l'Ebre a dû connaître un grave déficit

- De 1639 à 1641, l'Europe connaît trois années de sécheresse généralisée. En Espagne en particulier, les rivières sont partout très basses.

- En 1650 commence pour la Castille une longue période de pénurie qui devait durer une trentaine d'années. Là encore, on connaît mal l'extension du phénomène. On sait toutefois qu'il fut général en Europe en 1650, et que l'année 1658 fut particulièrement sèche dans les Baléares et tout le littoral méditerranéen.

Ainsi cette première moitié du XVII^{ème} siècle semble avoir été particulièrement affectée par la sécheresse, non seulement dans le domaine qui nous occupe mais dans toute l'Europe occidentale.

Tout au long du XVIII^{ème} siècle, nous trouvons de nombreuses indications concernant la Castille. Nous les signalerons chaque fois qu'une extrapolation au bassin de l'Ebre nous est apparue possible. Ainsi 1703 est particulièrement sec en Castille, mais on sait qu'à Saragosse l'archevêque autorise cette année là, la sortie du Santo Cristo de la Sec.

- De 1720 à 1723 cette même province de Castille connaît une grave déficience pluviométrique, mais le phénomène est aussi général en France en 1723.

- en 1725 c'est la province d'Urgel qui connaît ce genre de problème.

- L'année suivante 1726, la sécheresse affecte la France et une grande partie de l'Espagne.

- Les années 1749-50-51 furent sèches dans toute l'Espagne mais le bassin de l'Ebre fut particulièrement touché en 1749, année au cours de laquelle la région parisienne n'enregistra aucune pluie du 5 juin au 10 août, et en 1751 où le Sud-Ouest français connut une sécheresse extraordinaire.

- Nous retrouvons pour les années 1764-67-75, des indications concernant seulement la Castille. Mais on sait qu'en 1767, tout l'Est de la France est soumis à une forte sécheresse ainsi que la région parisienne où la Seine est anormalement basse.

- En 1779, c'est le littoral méditerranéen qui est touché, donc le bassin inférieur de l'Ebre.

- En 1796, les provinces de Murcia, Castille, Aragon et tout le bassin de l'Ebre connaissent une forte pénurie

- Tandis qu'en 1799, celle-ci affecte surtout la côte méditerranéenne.

Le XIX^{ème} siècle ne fut pas exempt de ces phénomènes dont les répercussions économiques et même politiques furent parfois très graves

- 1803 fut en Espagne une nouvelle "année de la faim". A Saragosse, la procession rogative du Santo Cristo est accordée ce qui nous dit la gravité de la situation, tandis que la France connaît de son côté des chaleurs excessives, que la Seine à Paris est à 27 cm au-dessus de l'étiage de 1719 un des plus bas de l'histoire. A Viviez dans l'Ardèche, on a enregistré 20 mm d'eau seulement pendant les trois mois de juin, juillet, août.

- 1815 et 1816 sont secs sur tout le littoral méditerranéen.

- En 1842 une grave sécheresse est signalée dans la province de Soria, mais le total des pluies à Paris est un des plus faibles connu. On peut donc supposer que le phénomène fut général.

- De 1848 à 1850 ce sont les Baléares et l'ensemble du littoral méditerranéen qui sont touchés.

- A partir de 1858 pour Saragosse, 1862 pour Huesca, 1880 pour Tortosa, nous possédons des chiffres de température et de pluie qui vont nous permettre désormais d'envisager la question sous un angle différent.

SECTION II - QUELQUES EXEMPLES RECENTS DE SECHERESSES -

A - ANNEES SECHES ET SERIES SECHES DEPUIS 1911 : CONCORDANCES ET DIS- CORDANCES A L'INTERIEUR DU BASSIN -

Nous traiterons ici à la fois de la sécheresse climatique et de la sécheresse hydrologique qui en découle.

Notre étude a porté sur les 60 années qui s'étendent de 1911 à 1970 pour lesquelles nous disposions de bonnes séries climatiques et hydrologiques, concernant en particulier les stations de Reinsa (Miranda pour l'écoulement), Saragosse et Tortosa. Nous avons adopté, pour caractériser une année sèche, une convention qui tend à s'imposer aussi bien en France qu'en Espagne où les ingénieurs hydrologues en particulier l'utilisent pour le classement des débits. Selon cette convention, on considère comme très sec un module de fréquence 15 % dans une série ordonnée par valeurs croissantes, et comme sec, un module de fréquence 35 %. D'autre part, afin de pouvoir comparer modules pluviométriques et hydrométriques, nous avons adopté, aussi bien pour les débits que pour les lames d'eau l'année hydrologique, c'est à dire le cycle octobre-septembre. La traduction des résultats sur les deux graphiques ci-joint (cf. fig. 92) permet de faire trois séries de remarque :

1° / Concentration inégale de la sécheresse dans divers secteurs du bassin :

- En ce qui concerne le bassin amont, on constate qu'il a connu

depuis le début du siècle trois grandes périodes de sécheresse au déroulement quelque peu différent. Une première période déficitaire s'étend de 1920-21 à 1925-26, soit six années consécutives au-dessous de la moyenne, parmi lesquelles quatre sont considérées comme sèches, et une, très sèche, l'année 1922-23. Si l'on considère les années civiles, on constate que 1921 a reçu 719 mm d'eau seulement, et 1924 : 764 mm. Cette situation est à rapprocher de celle de l'Europe océanique qui a connu en 1920-21 en particulier, une période de très fort déficit pluviométrique. Rappelons que les deux mois de septembre-octobre 1921 ont été à Paris-Montsouris les plus secs de la période de 1873-1975.

La deuxième période de sécheresse est plus sévère que la précédente, à la fois par sa longueur et par son intensité. Elle s'étend en effet sur la presque totalité des années 40. Plus précisément de 1942-1943 à 1949-50, avec une phase paroxysmale d'avril 1947 à novembre 1950 au cours de laquelle il est tombé 2554 mm de pluie en 44 mois. Soit une moyenne de 696 mm par an ! Enfin, depuis 1963 et même depuis 1961 si l'on envisage les années civiles, cette zone du bassin tout comme le bassin parisien en France, est entrée dans une phase sèche, interrompue seulement en 1966-67 par une courte période plus arrosée.

Ainsi sur l'amont du bassin, correspondant essentiellement à la zone vasco-cantabrique, les années déficitaires se sont groupées depuis 1911 en trois séries séparées par de longues phases normales ou humides.

- Le déroulement des phénomènes est un peu différent à Saragosse où les épisodes alternés semblent être de plus courte durée. Notre série commence entre 1911 et 1920 par une alternance régulière année humide, année sèche, la sécheresse étant parfois très accusée comme en

cette année 1912 où l'on enregistra seulement 17,15 mm, chiffre le plus bas depuis 1850. Après une phase plus humide de trois ans, les années 1923-24 et 1924-25 ont été parmi les plus déficitaires du siècle : 408 mm de pluie en deux ans, dont 188 en 1923-24. Après une longue période de pluviosité voisine de la normale, de 1925 à 42, à peine interrompue par quelques maigres isolés, se déclenche la grande sécheresse des années 40. Elle va durer jusqu'en 1949-50, heureusement scindée en deux par une phase un peu plus humide en 1946-47. Comme à Reims, les trois dernières années de cette série ont été les plus dramatiques. Elles ont apporté à Saragosse 694 mm de pluie au total, c'est à dire à peine un peu plus que le total de deux années moyennes. Presque tous les minima pluviométriques enregistrés depuis 1850 pour des durées assez longues, se trouvent réunis dans cette période : minimum de cinq mois : 18,1 mm ; de douze mois : 94 mm (mars 48 - avril 49) ; de 24 mois : 398 mm (novembre 1947 - octobre 1949) ; de 36 mois enfin : les 694 mm cités plus haut. Après une série pluvieuse ou normale qui occupe le début des années 50, un nouvel épisode de pénurie affecte le bassin moyen de l'été 1954 à la fin de 1958, accusé surtout au début et à la fin de la période. Puis ce fut, entre 1959 et 1963, la série très arrosée qui nous a fourni de nombreux exemples de crues, dont certaines comptent parmi les plus importantes du siècle. Depuis cette date, tout comme au début du siècle, états de pénurie et d'abondance alternent de façon étonnamment régulière jusqu'en 1973, à raison de une année sèche (1963-64, 66-67, 69-70), deux années humides ou normales.

- Enfin, à Tortosa, on n'observe qu'une seule longue série sèche : celle des années 1922-25. Cette période, qui correspond à une phase de sécheresse généralisée dans la moitié sud de la France, rassem-

TABEAU LVIII : PENURIES RECENTES A TORTOSA

Qe	date	Qm (20)	date	Qm M	date	Qm (2M)	date
9	Oct 54	16	At 66	19	Jt 55	21	Jt. At 55
9	At 55	17	Jt 55	29	At 65	46	At S 67
2	At 62	21	At 65	30	At 62	48	At S 62
12	Jt 64	21	At 62	30	At 66	55	At S 67
12	At 66	25	At 58	31	At 58	56	At S 58
15	At 65	39	At 67	44	At 67	60	O N 55

Qm (3M)	date	Qm (4M)	date	Qm (5M)	date	Qm A	date
30	Jt.S. 55	66	Jn.S. 55	61	Ma.S 55	262	1956-1957
57	Jt.S 57	68	Jt.O 67	85	Jn.O 58	273	1954-1955
63	Jt.S 65	84	Jn.S 58	89	Jn.O 67	287	1957-1958
72	Jt.S 58	69	Jn.S 65	92	Ma.S 65	316	1964-1965
76	S.N 54	78	At.N 54	96	Jt.N 54	391	1952-1953
77	Jt.S 62	120	Jt O 62	135	Jt.N 57	435	1966-1967

Minima de débit (en m3/s) enregistrés à Tortosa pour diverses durées : (période de référence : 1951 - 1973)

Qe : débit minimum annuel

Qm (20): " " de 20 jours consécutifs

Qm M : " " mensuel

Qm (2M): " " de deux mois consécutifs

Qm (A) : débits annuels les plus faibles .

ble la plupart des minima qui, ailleurs, se situent entre 1943 et 1950 : le minimum de douze mois : 190 mm (octobre 1923 - septembre 1924), celui de deux ans : 401,5 mm (novembre 1922 - octobre 1925), de trois ans : 650,5 mm soit 120 % seulement du module. En dehors de cet épisode tout à fait exceptionnel, les années sèches sur le bassin inférieur s'intercalent plus ou moins régulièrement entre les années normales ou humides, même au cours de la période 1942-50, de pénurie si remarquablement continue ailleurs

Cette étude fait ressortir un fait inattendu ; c'est à Reimsa que la concentration de la sécheresse est la plus forte. Les années déficitaires se groupent en longues séries de 3, 4 années consécutives, séparées par de longues périodes normales ou humides. A Tortosa au contraire, si la sécheresse est, toutes proportions gardées, plus intense (le minimum de douze mois représente 27 % du module, contre 47 % à Reimsa), abondance et pénurie alternent plus rapidement. La situation à Saragosse est intermédiaire entre ces deux extrêmes.

2° / Extension des grandes sécheresses hors du bassin de l'Ebre :

Sachant que la sécheresse est le plus souvent un phénomène étendu, nous avons cherché des prolongements possibles en France, en Europe occidentale et dans le bassin occidental de la Méditerranée, des situations observées sur notre bassin, et le résultat a été le plus souvent positif. Il ressort en effet de nos investigations que les grandes sécheresses du bassin amont correspondent le plus souvent à des phénomènes intéressant une partie de l'Europe océanique, c'est le cas en 1921-47-49 et 64. De même les sécheresses du bassin inférieur se prolongent souvent,

non seulement sur le reste de l'Espagne méditerranéenne, mais dans le Sud de la France, et parfois même en Afrique du Nord, affectant ainsi l'ensemble de la Méditerranée occidentale. Les années 1923-25-28-44-45 en particulier, illustrent ce phénomène, et à plus forte raison 1947-48, 1949-50 et 54-55 qui furent des années de sécheresse généralisée sur toute la péninsule et en particulier sur le bassin de l'Ebre.

S'il y a le plus souvent communauté de réaction entre l'amont et le monde atlantique, d'un côté, et le monde méditerranéen, de l'autre, il n'y a pas forcément concordance à l'intérieur même de notre bassin, et ceci est d'une grande importance pour les étiages à Tortosa, dont la profondeur dépend non seulement de la profondeur de la sécheresse, mais aussi de sa généralisation plus ou moins poussée.

3 / Concordances et discordances des épisodes de sécheresse : leur influence sur les modules et les étiages :

Trois séries de concordances plus ou moins graves apparaissent sur le graphique :

- La période sèche 1921-24, si accusée sur le versant méditerranéen, n'a pas eu, sur les modules de l'Ebre inférieur, de conséquence très importante. Seuls, les débits de 1924-25 sont suffisamment creusés pour apparaître dans la zone sèche de la courbe statistique. Paradoxalement, ils ne correspondent pas à la seule série concordante de la période, laquelle se situe en 1923-24. D'une façon générale d'ailleurs, cette période est caractérisée par une double discordance : sur le plan climatique, les différents secteurs enregistrent des sécheresses décalées les

unes par rapport aux autres ; sur le plan hydrologique, les faibles débits ne correspondent pas toujours, en apparence au moins, aux pénuries pluviométriques. Ainsi l'abondance d'aval est en discordance totale avec la grave sécheresse qui sévit dans ce secteur - la plus grave, on l'a vu de la période étudiée - et aussi avec les faibles débits de l'Ebre moyen et parfois supérieur. La seule explication doit se trouver dans les Pyrénées pour lesquelles nous avons malheureusement peu de renseignements hydrologiques correspondant à cette période. Inversement, à cette même époque, le cours moyen enregistre des maigres très prononcés alors que la pluviométrie n'est pas particulièrement déficitaire. Cette situation est liée au fort déficit sur la zone cantabrique, laquelle joue sur l'hydrologie du fleuve un rôle bien plus important que la cuvette aragonaise. En effet, un déficit de pluie de 30 % à Saragosse représente une lame d'eau de 95 mm, le même déficit à Reinosa vaut près de 300 mm!

- Par contre, la période 1942-50, présente sur le plan climatique trois années de catastrophique concordance : 1943-44, 1947-48 et 1949-50, ce qui a valu à l'ensemble du bassin, les lames d'eau les plus faibles qui aient été enregistrées au moins depuis le début du siècle, et peut-être depuis des temps bien plus éloignés. Ainsi, de mars 1948 à février 1949 il est tombé sur l'ensemble du bassin, Pyrénées comprises, 340 mm de pluie, la moitié du module ! Et les trois dernières années de cette série ont reçu 1425 mm d'eau, représentant la pluie de deux ans ! Notons ici que la sécheresse de 1943-44 fut générale en Europe occidentale, de même que celle de 1948-49. Ce sont là des phénomènes de monde atlantique mais très intenses, et très étendus au point d'intéresser parfois, ce fut le cas en 1943-44, le monde méditerranéen. La grande pénurie de 1947-48 et 1959-50,

se retrouve dans toute l'Espagne, la France Méditerranéenne, et même l'Afrique du Nord. Il s'agit cette fois d'un phénomène méditerranéen extensif.

Les conséquences hydrologiques de cette sécheresse furent considérables. Toutes les rivières du bassin, sans exception, accusent pendant cette période, le plus souvent en 1948-49, presque tous les minima possibles : minimum de chacun des mois, étiage minimum, module minimum. Le plus remarquable, c'est que le classement des débits de ces trois années à Tortosa est l'inverse du classement des lames d'eau moyennes sur l'ensemble du bassin. Ainsi pour les pluies, l'ordre s'établit de la façon suivante (1) : 1947-48, 1949-50, 1948-49. Pour les débits, en a 1948-49, 1949-50, 1947-48. Etant donné que ces trois années ont des caractères thermiques assez voisins, (toutes trois ont eu au printemps et en été des températures supérieures à la normale), la différence ne peut venir que de la répartition des pluies. Or 1948-49 est une année de fort déficit hivernal, par contre l'été est absolument normal ; 1949-50 est moins arrosé en été, un peu plus en hiver ; 1947-48 a l'été le plus sec et l'hiver le plus humide de la série.

- Les années 1954-58 constituent pour le bassin de l'Ebre une nouvelle séquence de maigres à la fois sur le plan pluviométrique et sur le plan climatique. Mais il s'agit de maigres moins intenses, moins durables et moins généralisées que dans la précédente décennie, sauf en 1954-55 où la sécheresse s'étendit non seulement sur la totalité du bassin versant étudié, mais sur toute l'Espagne et l'Afrique du Nord. Cette généralisation

(1) Il s'agit d'une rare décroissance.

provoqua de très faibles débits sur l'ensemble des affluents du bassin et sur tout le cours du fleuve. Plus étonnants sont les maigres très prononcés de 1956-57, liés à la seule sécheresse du bassin moyen, et aussi, il est vrai, des Pyrénées. Cette discordance mérite une étude plus poussée que nous aborderons ultérieurement. Autre anomalie : les faibles modules de 1958-59 alors que cette année là fut abondamment et généralement arrosée. Ces faibles modules résultent de l'influence, sur la moyenne annuelle, des débits misérables d'octobre-novembre 1958, lesquels constituent en réalité le prolongement attardé des très graves étiages de 1958.

- Depuis cette date, et mise à part l'année 1966-67, le bassin de l'Ebre connaît dans toute sa partie moyenne et inférieure une phase humide au cours de laquelle se sont produites de nombreuses et catastrophiques inondations. Par contre si, au début de cet épisode, la zone cantabrique a participé à l'abondance générale, depuis 1963, la discordance est totale entre les deux extrémités du bassin.

Ces observations, permettent de compléter les conclusions auxquelles nous étions arrivés au paragraphe précédent. Nous mettrons ici en relief deux séries de faits :

1 - Pour chaque station analysée, les sécheresses les plus graves ne sont pas des phénomènes localisés, mais au contraire, étendus à l'ensemble du bassin au moins, et le plus souvent à toute l'Espagne, si ce n'est à toute l'extrémité ouest du monde méditerranéen

2 - L'importance des pénuries hydrologiques est étroitement liée à ces concordances climatiques. Mais on a constaté parfois des anomalies apparentes qui peuvent être levées en faisant appel à d'autres fac-

teurs climatiques que la pluie. Pour nous résumer disons que, d'une façon générale, l'influence des déficits pluviométriques sur les débits annuels est liée à leur localisation, leur extension, leur intensité, leur date.

Localisation : un déficit, même important, localisé à l'aval, n'a guère d'influence sur les débits du fleuve (ex : 1922-23, 1961-62). De même une sécheresse limitée à l'amont (1968-69), ou même empiétant sur le bassin moyen (1942-43, 1964-65). Par contre si les Pyrénées sont concernées, les débits à Tortosa marquent une brusque chute. Et ici intervient la notion d'extension.

Les débits les plus faibles à Tortosa sont le plus souvent liés aux sécheresses les plus étendues, et bien sûr, les plus intenses, et pourtant, nous avons remarqué l'anomalie étonnante de 1956-57 : année de très faibles débits sur l'ensemble du fleuve, bien que la sécheresse n'ait pas été généralisée. Mais là où elle a sévit, elle s'est manifestée en hiver et nous reverrons à travers des exemples précis, combien ces pénuries hivernales sont préjudiciables à l'hydrologie. Les pluies d'été étant de toutes façons en grande partie perdue, ce sont celles de l'hiver et du printemps, qui, très souvent, font la différence. Ainsi est mis en relief le rôle que joue la date des pénuries pluviométriques dans les maigres hydrologiques.

B - LA SECHERESSE DE L'ETE 1967 ET SES CONSEQUENCES HYDROLOGIQUES -

Au cours de l'été 1967, le bassin de l'Ebre a connu une sécheresse tout à fait exceptionnelle, la plus importante de la période 1948-1975

et peut être même du siècle.

Avec 18,9 mm (juin à septembre) et 96,7 mm (mai à septembre), les totaux pluviométriques de quatre et cinq mois ont été en effet, à Saragosse, les plus bas que nous connaissions pour une période estivale. Cette situation s'est traduite sur le fleuve, à Saragosse comme à Tortosa, par des étiages particulièrement durables, mais moyennement creusés, anomalie apparente qu'une étude plus précise des caractères climatiques de cette période va nous permettre d'expliquer.

1°/ Caractères climatiques de l'année 1967 :

L'année 1966-67 a débuté sous des aspects assez favorables puisque les mois d'octobre et novembre ont été bien arrosés. Mais dès le mois de décembre, la pluviosité moyenne sur l'ensemble du bassin devient inférieure à la normale et va le rester jusqu'à l'automne suivant. Pourtant, étant donné les fortes lames d'eau reçues en octobre et novembre, la cumulation des pluies (v. fig. 93 et tableau LIX) ne fait apparaître de déficit qu'à partir de mars (et à Reinosa, malgré neuf mois de pénurie totalisant 336 mm de moins que la moyenne, il n'y a pas de déficit cumulé). La situation se stabilise un moment en avril avec un régime de NE générateur de basses températures au sol et de gouttes froides d'altitude, responsables de pluies assez fréquentes mais de faibles intensités, atteignant en particulier les Pyrénées et le bassin inférieur. En mai, un régime d'Ouest entraîne momentanément quelques précipitations sur la zone cantabrique, tandis que le reste du bassin est nettement déficitaire, en particulier dans son secteur SE et dans la Dépression Centrale qui ne re-

TABLEAU IIX : LA PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN DE L'EBRE EN 1966-67

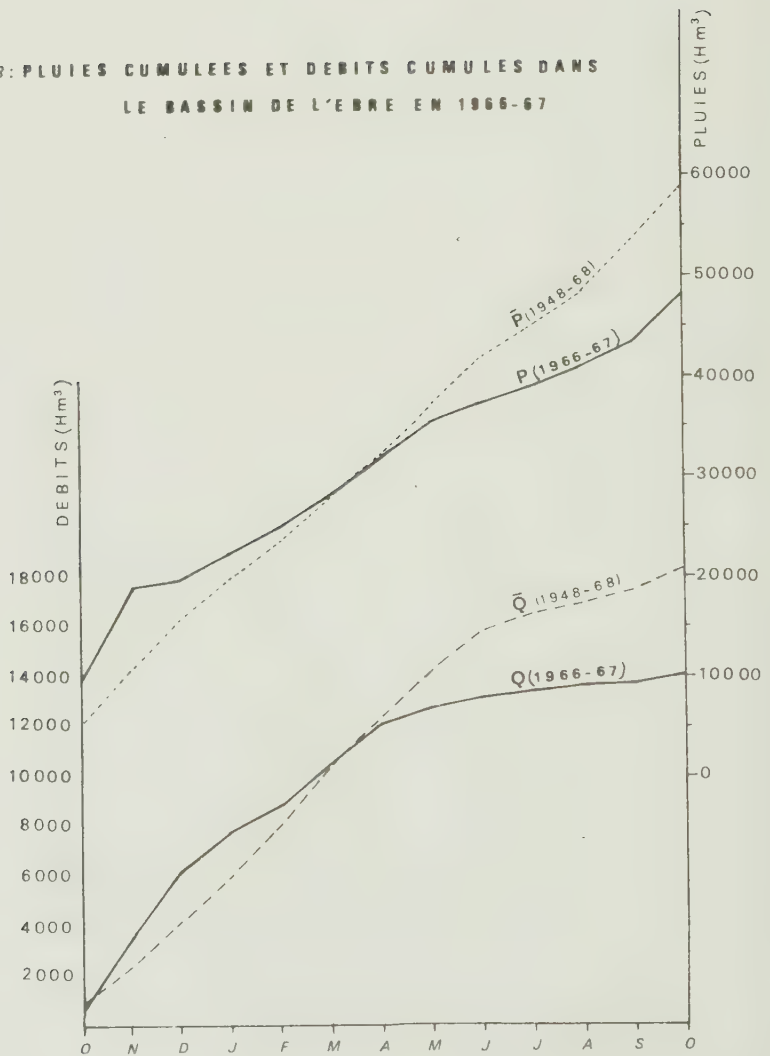
Stations	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Reinosa	P	301,5	184,8	49,4	36,5	27,8	56,4	45,9	33,8	56,6	19,9	36,5
	Δ	-	-	66,4	-83,8	-10,2	-11,9	-17,5	-20	-	-10	-41,4
	Δ'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zaragoza	P	74,2	29,1	0,9	11,6	24,6	4,1	30,9	1,2	0,7	6,2	4,8
	Δ	-	-1,9	-26	-6,4	-	-20,9	-	-22,8	-16,3	-10,8	-24,2
	Δ'	-	-	-	-	-	12,5	9,6	61,6	77,9	88,7	112,9
Tortosa	P	162,9	8,6	0,2	29,8	35,7	22,4	59,8	5,2	0,5	84,8	14,7
	Δ	-	-42,4	-46,8	-	-	-18,7	-	-35	-18,5	-	-66,3
	Δ'	-	-	-	-	-	3,5	-	59,3	-7,8	1,8	84,3
Bassin Total	P	109,4	100,3	20,5	30,1	33,5	34,3	58,9	19,6	19,4	27	24,6
	Δ	-	-	-0,6	-18	-15	-18,7	-	-40,7	15,4	-13,3	-39
	Δ'	-	-	-	-	-	16,6	17,7	86,2	101,6	114,9	154

P : Pluie mensuelle en mm

Δ : Différence à la normale

Δ' : Déficit cumulé.

Fig. 93: PLUIES CUMULEES ET DEBITS CUMULES DANS
LE BASSIN DE L'EBRE EN 1966-67



P et Q comparés à la moyenne $\bar{P}$ et $\bar{Q}$ de la période 1948-68

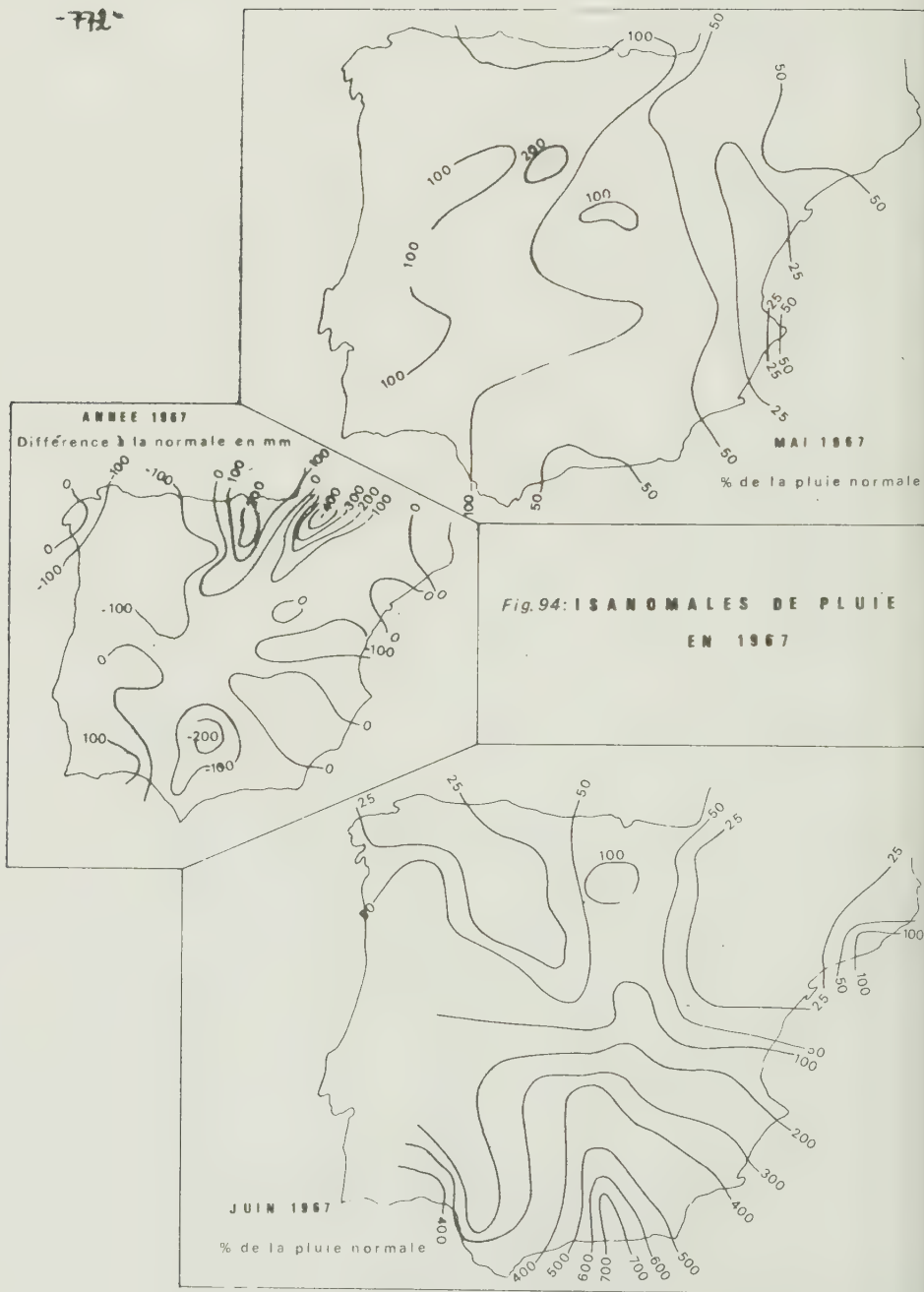
çoivent que 25 % de la normale du mois. Les températures, comme en avril, restent basses, inférieures de 1° à la moyenne saisonnière sur les Pyrénées et le Système Ibérique. Cette infériorité thermique se prolonge en juin par suite de l'installation d'un régime anticyclonique sur le Nord de l'Espagne. Le bassin de l'Ebre, plus précisément se trouve sur le bord NE d'un anticyclone étiré vers le Nord jusqu'au delà du 45ème parallèle. Ce mois est donc sec et frais, le gradient barométrique provoquant des entrées successives d'air venu de régions septentrionales. En juillet règne sur tout le bassin une grande sécheresse accompagnée de fortes chaleurs. Du 16 au 21 en particulier soufflent des vents de Sud responsables de températures qui comptent parmi les plus fortes du siècle : 41° à Saragosse, 42° à Lérida, 43° à Mora la Nueva, 44° sur les bords du bassin de Camarasa.

A Mora, la moyenne des maxima a atteint 37°8 ! Mais ces fortes chaleurs furent de courte durée. Le mois d'août devait ramener des températures fraîches, qui restèrent au-dessous de la moyenne encore en septembre, accompagnées en cette fin de saison d'un renforcement spectaculaire de la sécheresse.

TABLEAU LX : TEMPERATURES MENSUELLES AU COURS DE L'ETE 1967 ET DIFFERENCE EN DEGRES (Δ) A LA NORMALE SAISONNIERE.

Stations		A	M	J	J	A	S
Panticosa	1967	3,7	6,7	12	12,7	15	11,2
	Δ	- 1,3	- 1,8	- 0,2	- 2,9	- 0,2	- 1,6
Agoncillo	1967	10,6	14,6	17,9	23,7	21,7	18,6
	Δ	- 1,3	- 1,1	- 1,4	+ 1,8	0	- 0,6
Zaragoza	1967	12,2	16,8	19,8	25,8	23,9	20,6
	Δ	- 1,2	- 0,4	- 1,4	+ 1,9	- 1,4	0
Tortosa	1967	14,8	18,3	21,3	25,9	24,9	23,1
	Δ	- 0,6	- 0,1	- 1	+ 0,9	- 0,1	+ 0,4

-71-



Ainsi, cette année 1967 a été caractérisée sur le plan de la pluviométrie, par un déficit sans cesse croissant qui a atteint en septembre, pour l'ensemble du bassin, 154 mm ; les mois de plus forte pénurie ayant été mai et juin, mais aussi les mois d'hiver, en particulier dans les régions normalement les plus enneigées : secteur cantabrique et Pyrénées où nous avons noté à Panticosa un déficit hivernal de 208 mm. Cependant le secteur le plus touché par la sécheresse a été le bassin moyen où les 200 mm de pluie tombés à Saragosse dans l'année représentent un évènement dont l'ordre de fréquence est de 6 % et les 14 mm de pluie estivale, une fréquence de 2,7 %. Quant aux précipitations de l'ensemble mai-septembre, jamais depuis 1859, c'est à dire depuis le début des observations, elles n'avaient été aussi basses. Les Pyrénées ont connu une situation assez semblable en particulier dans leur moitié ouest où l'on note, à Panticosa, un déficit de 555 mm sur les 9 premiers mois de l'année.

Assez paradoxalement, cette sécheresse accentuée s'est accompagnée de températures anormalement basses d'avril à septembre, à la seule exception de quelques jours de très forte chaleur en juillet. A l'origine de cette infériorité thermique, la fréquence des régimes de nord qui ont sans cesse renouvelé sur l'Espagne les masses d'air fraîches, d'origine septentrionale, et aussi, le déficit d'ensoleillement dont le tableau suivant, relatif à Tortosa, donnera une idée.

TABLEAU LXI : L'ENSOLEILLEMENT A TORTOSA AU COURS DE L'ETE 1967 ET DIFFERENCE (Δ) A LA NORMALE (EN HEURES)

Tortosa	M	J	J	A	S
1967	263	282	320	267	213
Δ	- 11	- 4	- 1	- 20	- 14

L'été 1967 constitue donc un exemple typique d'été sec et frais : deux caractères dont les effets sur le plan hydrologique sont contradictoires. Ainsi, si la pluie a été, cette année-là, distribuée avec parcimonie, par contre les prélèvements par évapotranspiration sont restés modérés. Il reste à voir quel a été l'impact sur l'hydrologie de ce comportement climatique assez original.

2°/ Les caractères hydrologiques :

Ils sont quelque peu différents selon le secteur envisagé. En ce qui concerne les étiages à Miranda, jamais depuis 25 ans au moins, le fleuve n'était resté aussi abondant au coeur de l'été, et ceci concorde avec l'absence de déficit pluviométrique constaté plus haut. Par contre, le bassin moyen qui a connu une sécheresse estivale extraordinaire, accuse le plus long étiage enregistré depuis 1950. A Saragosse, l'Ebre est au-dessous de 60 m³/s du 13 juin au 14 octobre et les minima sont parmi les plus faibles de la période : 18 et 20 m³/s pour les débits moyens des 10 et 20 jours de plus basses eaux. A l'aval, ces excès vont se trouver fortement atténués par l'action sur les débits du fleuve du réseau Sègre-Cinca. Les rivières pyrénéennes ont accusé en effet des étiages qui comptent parmi les plus abondants du dernier quart de siècle et ce, malgré une sécheresse qui a largement atteint tout ce secteur. Cette abondance n'est donc pas due à la pluie, mais à la fonte tardive des neiges que les basses températures ont plus longtemps retenues sur les sommets. La faiblesse de l'évaporation physique à la surface des retenues et de l'évapotranspiration d'une façon plus générale a aussi joué un rôle difficile à apprécier, mais certainement non négligeable.

Ces influences combinées ont donné à Tortosa un étiage relativement tardif - les débits ne tombent au-dessous de 100 m³/s qu'à partir du 21 juillet -, mais se prolongeant longuement sur l'arrière saison jusqu'à la mi-octobre. Au total, le limnigraphe de Tortosa, a enregistré 104 jours de débit inférieur à 100 m³/s et 58 jours inférieurs à 50 m³/s . Et les minima moyens de 10 et 20 jours consécutifs sont tombés à 34 et 40 m³/s.

Si l'on compare cet étiage à la série des étiages des années 1951 à 72 (cf. tableaux LIX et LVIII, et fig. 82), on constate que celui-ci est caractérisé par sa longueur beaucoup plus que par son intensité ; de sorte que si l'été 1967 est absent des premiers rangs dans la liste ordonnée des Q_e, Q_m (10), Q_m (20), il jaillit brusquement en 2^e position pour les minima de 2, 3, et 4 mois consécutifs.

Quant au module, l'étude statistique a montré qu'il se situe seulement au niveau de la fréquence 35 %, c'est à dire aux limites de ce qu'il est convenu de considérer comme une année sèche.

Ces caractères hydropluviométriques longuement analysés peuvent se résumer en quelques points :

- I - Une sécheresse estivale tout à fait exceptionnel-
le sur le bassin moyen et les Pyrénées, relativement grave sur le bassin inférieur, et un faible enneigement hivernal aussi bien sur les Pyrénées que dans le secteur vasco-cantabrique.

- 2 - Malgré ce, des modules annuels point trop misérables.

- 3 - Des étiages tardifs, prolongés, mais relativement modérés.

- Tardifs, du fait des basses températures qui n'ont permis qu'une libération très progressive de la neige, et qui ont dû retarder aussi le début des irrigations.

- Prolongés, du fait de la persistance de la sécheresse et de son renouveau d'intensité en septembre. Le déficit cumulé a débuté en mars, et s'est poursuivi en s'accroissant jusqu'en octobre.

- Modérés par suite d'un concours de circonstances qui ont contribué à atténuer les effets de la sécheresse à savoir :

- la fonte très lente de la neige qui a fourni des subsides aux rivières jusqu'au coeur de la saison chaude ;

- l'accentuation très progressive du déficit pluviométrique qui n'atteint son maximum qu'en septembre c'est à dire trop tard pour être pleinement efficace.

- la faiblesse des prélèvements par évapotranspiration, consécutive aux basses températures.

Ainsi s'explique cette discordance qui nous avait tout d'abord étonnée, entre une sécheresse tout à fait exceptionnelle d'une part, et d'autre part des modules et des étiages dont la faiblesse est sans commune mesure avec le déficit pluviométrique en particulier le déficit estival.

C - DEUX EXEMPLES D'ETIAGES PROFONDS ET DURABLES -

Les années 1955 et 1958 nous offrent deux exemples d'étiages de saison chaude profonds et durables malgré une pluviosité esti-

TABLEAU LXII : PLUVIOMETRIE COMPAREE DES ANNEES 1954 - 55 ET 1957 - 58
SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN DE L'EBRE

Années		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
1954 - 55	P	14	44	35	83,5	63,2	23,6	18	34,8	83,9	59,3	56,3	39,4
	Δ	-52,3	-24,8	-28,3			- 30	- 12	-31,5				-24,2
	Δ	52,3	77,1	105,4	70,7	56	86	117	149,5	126,1	101,6	85	109,2
1957 - 58	P	62,3	31,5	31,2	66,3	22,2	67,2	33,4	44,2	58,8	40	42,2	52,9
	Δ	- 4	-33,3	-32,1		-26,3	-16,6	-16,6	-22,1	- 1,5			-10,5
	Δ	4	4	65,4	47,9	74,2	60	76,6	98,7	100,2	95	93	103,5

P : Pluie mensuelle en mm.
Δ : Différence à la normale.
Δ : Déficit cumulé.

TABLEAU LXIII : L'ENSOLEILLEMENT A TROIS STATIONS DE LA VALLE DE L'EBRE
AU COURS DES ETES 1955 - 1958.

Stations		1 9 5 5						1 9 5 8					
		A	M	J	J	A	S	A	M	J	J	A	S
Logrono	S	206	209	231	274	281	178	194	249	218	304	270	253
	Δ	+ 21	- 21	- 37	+ 40	- 2	- 20	+ 9	+ 19	- 50	- 10	- 15	+ 54
Tortosa	S	270	200	264	200	272	229	253	288	273	373	294	201
	Δ	+ 46	- 52	- 22	- 21	- 15	+ 3	+ 29	+ 36	- 13	+ 52	+ 7	+ 5
Zaragoza	S	284	289	294	345	324	249						
	Δ	+ 78	+ 10	- 18	- 17	- 1	13						

Nombre d'heures d'ensoleillement (S) et différence (Δ) à la normale.

vale supérieure à la moyenne. L'un d'eux, 1955, fut un peu plus précoce et un peu plus profond, l'autre, 1958, plus tardif mais plus prolongé vers l'arrière saison, mais tous deux enregistrèrent plus de 100 jours de débit inférieur à 100 m³/s. (cf. fig. LVI et LVII H.T.).

C'est d'abord par leur profondeur que ces étiages se distinguent de la série étudiée. Les 9 m³/s enregistrés à Tortosa au cours de plusieurs journées de juillet et août 1955 représentent avec le minimum d'octobre 1954, la plus faible valeur d'étiage de la période 1951 - 1974 . Ce débit représente 1,6 % seulement du module. Or, cet épisode de très basses eaux s'étant prolongé, les Qm (10) et Qm (20) ont plafonné à 17,1 et 17,5 m³/s et à la fin juillet, la moyenne mensuelle n'atteignait pas 20 m³/s.

La pénurie fut un peu moins prononcée en 1958 surtout en ce qui concerne le minimum : 24 m³/s et 4,4 % du module. Mais les débits de 10 et 20 jours et la moyenne mensuelle restèrent très déprimés.

Il y eût plus grave au cours de ces deux étés mémorables. Ce fut la longueur de la période de pénurie. Pratiquement, le fleuve est resté au-dessous de 100 m³/s du 9 avril au 4 octobre 1955 et du 1er juin au 12 novembre 1958. Il a donc débité moins de 1/5 du module pendant respectivement 6 mois et 5 mois et demi ! Et sur le tableau relatif aux pénuries récentes à Tortosa, nous constatons que le débit moyen de 5 mois consécutifs a atteint 61 m³/s en 1955 et 85 m³/s en 1958, soit des chiffres oscillant autour du 1/10 du débit naturel du fleuve !

Le déroulement des faits : La sévérité de l'étiage de 1955 et sa précocité résultent des événements hydroclimatiques qui se sont déroulés depuis l'été précédent. Celui-ci en effet avait été chaud et sec au

point d'imposer aux rivières des étiages très profonds en particulier sur les rivières pyrénéennes. Parmi celles-ci, les plus touchées furent l'Aragon et le Cinca. Durant le mois d'août on vit même ce dernier s'assécher pendant quelques jours au droit d'Ainsa. Or, les pluies d'automne tardant à éclater, cette situation s'est poursuivie au point de provoquer sur le fleuve un étiage très tardif atteint en octobre seulement, et très déprimé : 8,6 m³/s. Le mois de septembre en effet, au lieu d'annoncer le retour de l'humidité, s'était avéré très sec, en particulier dans toute la bande médiane du bassin, des Pyrénées au Système Ibérique où il est tombé seulement le quart de la normale. Ce déficit s'est encore aggravé en octobre en s'étendant à tout le bassin. Les Pyrénées et le bassin inférieur ont reçu alors 50 à 60 mm de moins que la moyenne. Le reste accuse un déficit de 25 à 50 mm. Au total, c'est une lame d'eau de 62 mm (sur une moyenne de 66) qui a manqué au bassin en ce mois d'octobre 1954. Si novembre fut un peu mieux pourvu, bien qu'encore en déficit de 24 mm, les températures restèrent très supérieures à la normale : 3° de plus en Navarre, 2° de plus sur l'ensemble des Pyrénées, ce qui a dû priver la montagne de ses premières neiges. Au total, lorsque l'hiver se déclenche enfin, le déficit pluviométrique sur l'ensemble du bassin s'élève à plus d'un mètre soit 8820 hm³ d'eau. Après un hiver à peu près normal, au moins en ce qui concerne janvier et février, le printemps est à nouveau très sec. En avril, le bassin reçoit 36 % du total mensuel, en mai, 52 % et l'ensemble des trois mois avec un total de 75 mm seulement, 45 % du total. On sait que ces chiffres sont les plus bas de la période 1948 - 1971.

Ainsi lorsque s'achève le printemps et par conséquent, pour une bonne partie du bassin, ce qui aurait dû être la saison des pluies, le déficit cumulé atteint 150 mm.

TABLEAU LXIV : CARACTERES THERMIQUES DES ETES 1955 ET 1958

		1 9 5 5										1 9 5 8									
		A					J					M					A				
		A	M	J	J	S	A	J	J	S	A	M	J	J	S	A	M	J	J	S	
REINOSA	T	9,2	11,2	13,7	15,9	17	12,6	17	15,9	12,6	6	11,3	12,7	15,4	16	16,7					
	A	+ 1,5	+ 0,8	0	+ 0,2	+ 1	+ 1,0	+ 1	+ 0,2	+ 1,0	- 1,7	+ 0,9	- 1,0	- 0,3	0	+ 2,1					
	T _M	16	17	19,6	21,9	24,1	19,2	24,1	21,9	19,2	10,7	16,8	17,7	21,7	22,3	23,6					
	A	+ 2,6	+ 1,3	- 0,2	- 0,2	+ 1,6	- 1,0	+ 1,6	- 0,2	- 1,0	- 2,7	+ 1,1	- 2,1	- 1,6	- 0,2	+ 3,4					
	J (35)	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	1	1	0					
	A	0	0	0	0	+ 1,8	0	+ 1,8	0	0	0	0	0	- 0,3	- 1,2	0					
	J (30)	0	1	4	6	13	1	13	6	1	0	3	2	9	11	10					
	A	0	- 0,1	+ 0,7	- 1	+ 6	- 5,1	+ 6	- 1	- 5,1	0	+ 1,9	- 1,3	+ 2	+ 4	+ 3,9					
	T	15,6	18,9	21,6	25,1	24,7	20,6	24,7	25,1	20,6	12,5	19,8	21	24	24,3	24					
	A	+ 2,2	+ 1,7	+ 0,4	+ 1,2	+ 1,2	+ 0,3	+ 1,2	+ 1,2	+ 0,3	- 0,9	+ 2,6	- 0,2	+ 0,1	+ 0,8	+ 3,7					
ZARAGOZA	T _M	22,4	25,2	27,8	31,8	31,3	26	31,3	31,8	26	17,4	26,5	27,2	30,6	30,7	30,4					
	A	+ 3,1	+ 2,8	+ 0,5	+ 1,1	+ 1,2	- 0,2	+ 1,2	+ 1,1	- 1,9	+ 4,1	+ 4,1	- 0,1	- 0,1	+ 0,6	+ 4,2					
	J (35)	0	0	1	3	2	0	2	3	0	0	0	0	10	6	2					
	A	0	0	- 0,7	- 2,8	+ 1,4	- 0,6	+ 1,4	- 2,8	- 0,6	0	0	- 1,7	+ 4,2	+ 2,6	+ 1,4					
	J (30)	0	1	8	21	23	4	23	21	4	0	11	8	17	18	20					
	A	0	- 2	- 0,7	+ 2,7	+ 7,5	- 2	+ 7,5	+ 2,7	- 2	0	+ 8	- 0,7	- 1,3	+ 2,5	+ 14					

TABEAU LXIV : CARACTERES THERMIQUES DES ETES 1955 ET 1958 (suite)

	1 9 5 5										1 9 5 8				
	A	M	J	J	A	S	A	M	J	J	A	J	A	S	
T	15,3	19	21,9	24,9	24,8	22,1	14,3	19,1	21,8	24,3	25,1	24,5			
Δ	-0,9	-0,3	-1,7	-1,4	-1,1	-1,1	-1,1	+0,7	-0,7	-0,7	+0,1	+1,8			
T _M	21,7	23,3	26,9	30	30	27,1	19,7	24,8	26,9	29,6	29,9	29,1			
Δ	+1,1	0	-0,2	-0,2	-0,6	-0,6	-0,9	+1,5	+1,1	-0,6	-0,7	+1,4			
J (35)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
Δ	0	0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,3	0	0	-0,1	+0,7	-0,4	-0,3			
J (30)	0	0	2	18	16	2	0	0	1	11	19	8			
Δ	0	0	-2,4	+3,2	-1,3	-6,2	0	0	-3,4	-3,8	+1,7	-0,2			
T _M	7,5	10,5	12,4	-	-	-	2,2	10,5	10,9	14,4	16,2	15,9			
	+2,5	2	+0,2	-	-	-	-2,8	+2	-1,3	-1,2	+1	+3,1			
T _M	12,4	15,3	17,1	-	-	-	6,7	15,4	15,6	19,7	22	21			
	+4,8	+4,3	+0,8	-	-	-	-0,9	+4,4	-0,7	-0,8	+2,1	+3,8			
J (25)	0	0	0	-	-	-	0	0	0	4	8	4			
Δ	0	0	0	-	-	-	0	0	0	+1,1	+4,8	+2,9			

T : Températures mensuelles.

T_M : Moyenne des maxima.

J (25), J (30) et J (35) : Nombre de jours de température 25,30 ou 35°.

Δ : Différence à la normale.

Or cette déficience sur le plan de la pluviométrie s'est trouvée aggravée par des températures partout supérieures à la moyenne, en particulier dans les Pyrénées où les maxima accusent un écart de près de 5° en avril et encore 4° en mai !

Dans ces conditions, la pénurie s'est faite sentir très tôt sur les rivières. Dès le mois d'avril, et mai, le niveau de l'Ebre est très bas à Miranda et cette situation s'accroît encore en juin. Les rivières pyrénéennes si abondantes d'ordinaire à cette époque souffrent d'un grave déficit, le Cinca étant le plus touché. On comprend dans ces conditions que, dès le 21 avril, les débits de l'Ebre inférieur soient tombés au-dessous de 100 m³/s. C'est là un fait que, seules depuis 1914, les années 1949-50 ont dû connaître. De même, les minima de mai n'ont jamais été aussi bas. A partir de juin, la pluviométrie redevient normale et malgré ce, dans le lit du fleuve, le niveau recommence bientôt à baisser. Plusieurs raisons à cela :

1 - Les pluies d'été sont peu efficaces, étant en grande partie évaporées d'autant que cette année là, l'été est chaud.

2 - Le capital neigeux a disparu très tôt sur les cimes pyrénéennes, du fait des conditions thermiques évoquées plus haut.

3 - Les nappes sont basses depuis longtemps. En réalité, depuis le printemps 1954, elles n'ont pas reçu leur contingent hydrique normal.

4 - Enfin, les exigences de l'irrigation, d'autant plus importantes que cet été où on l'a vu, a été plus chaud, ont dû contribuer à épuiser les débits.

TABLEAU LXV : NOMBRE DE JOURS DE DEBIT INFÉRIEUR A UN SEUIL DONNE.

Q (m ³ /s)		A	M	J	J	A	S	O	N	Total	longueur (jours) épisode max.
< 20	1955	0	2	0	18	15	4	0	0	39	9 (août)
	1958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
< 30	1955	0	0	3	27	23	12	0	0	65	20 (juillet)
	1958	0	0	0	3	20	5	0	0	28	14 (août)
< 50	1955	2	20	6	30	31	19	0	0	108	59 (Jt. At)
	1958	0	0	0	13	29	15	0	0	57	36 (Jt. At)
< 100	1955	25	31	17	31	31	27	3	0	165	71 (Jt. At. S)
	1958	0	0	15	18	31	23	23	12	122	63 (Jt. At. S)

Ainsi la profondeur et la précocité de cet étiage résultent moins de la situation estivale que d'une préparation lointaine dans laquelle l'automne et le printemps précédent ont joué un rôle décisif.

Le déroulement des faits en 1958 est assez parallèle. Comme l'automne 1954, celui de 1957 est sec, ainsi que l'hiver suivant. Après un mois de mars normal, le printemps, comme en 1955 est très déficitaire et de plus le mois de mai très chaud a emporté des neiges qui normalement auraient fondu le mois suivant. Aussi malgré le retour en juin à une situation normale, les débits de ce mois sont très bas : 122 m3/s. C'est après celle de juin 1965, la valeur la plus faible pour un mois de juin de la série étudiée. Contrairement à la situation de l'été 1955, les pluies de juillet ont rétabli pour un temps un niveau pas trop désastreux, et contribué à reporter sur août le minimum annuel. Cette différence de comportement résulte essentiellement du rôle joué par la température. On constate en effet que la différence à la normale est presque partout négative. C'est là un fait qui a dû influencer notablement le phénomène évaporation. En août, la sécheresse fait un retour en force, en particulier dans la moitié est des Pyrénées, c'est à dire la zone qui en été, joue le plus grand rôle dans l'alimentation du fleuve. Les passins du Sègre et du Cinca reçoivent en effet 25 % seulement de leur contingent, lesquels ont été en grande partie évaporés, sous l'effet de la chaleur intense qui règne ce mois là (2° de plus que la moyenne dans les vallées pyrénéennes). Malgré un retour relatif de la pluie, cet étiage se poursuit en septembre, du fait des hautes températures qui continuent à régner. Enfin un mois d'octobre à nouveau très sec a déterminé un prolongement de l'étiage jusqu'au début novembre. En somme, les pluies d'été et encore celles de septembre ont été

neutralisées par la chaleur et sans doute aussi par les irrigations.

Ces deux années hydrologiques ont donc présenté des caractères assez voisins, et un déroulement presque parallèle. La longue pénurie estivale a été préparée de longue date par un automne déficitaire, puis à nouveau un printemps très sec, ces deux saisons encadrant une courte période humide hivernale. Dans ces conditions, les nappes n'ont pu se recharger normalement. De plus, des températures précocement élevées, dès avril ou mai, ont liquidé rapidement un capital neigeux déjà plus réduit qu'à l'ordinaire. Mais les étés ont été relativement arrosés ou même bien arrosés. Et c'est là le fait le plus remarquable. Avec 200 mm de pluie, l'été 1955 a reçu 64 mm de plus que la normale ! Autre anomalie apparente, c'est l'été le plus arrosé qui a connu l'étiage le plus profond. Mais cette année 1955 est aussi celle du plus fort déficit pluviométrique printanier.

Cet exemple confirme de façon magistrale un fait déjà souligné : le rôle essentiel dans la détermination de l'étiage, de la préparation hivernale et surtout printanière, et parfois d'une préparation plus lointaine encore comme ce fut le cas en 1958 et surtout en 1955. Deux facteurs en effet déterminent les modalités des étiages :

L'état du manteau neigeux sur la montagne, et celui des nappes dans l'ensemble du bassin. Un printemps chaud, surtout lorsqu'il succède à un hiver sec, liquéfie rapidement les neiges pyrénéennes qui ne peuvent plus soutenir les débits estivaux. L'étiage est alors précoce. Lorsque les pluies d'automne font défaut après un été sec, les nappes s'épuisent et leur recharge est alors difficile. Si le printemps suivant est encore sec, la situation devient alors très grave et faute d'une alimentation convenable par les sources, les rivières connaissent des étiages très creusés... et parfois dramatiques dans ce pays au climat semi-aride.

D - SECHERESSE ET ETIAGES DE L'HIVER 1956 - 57 -

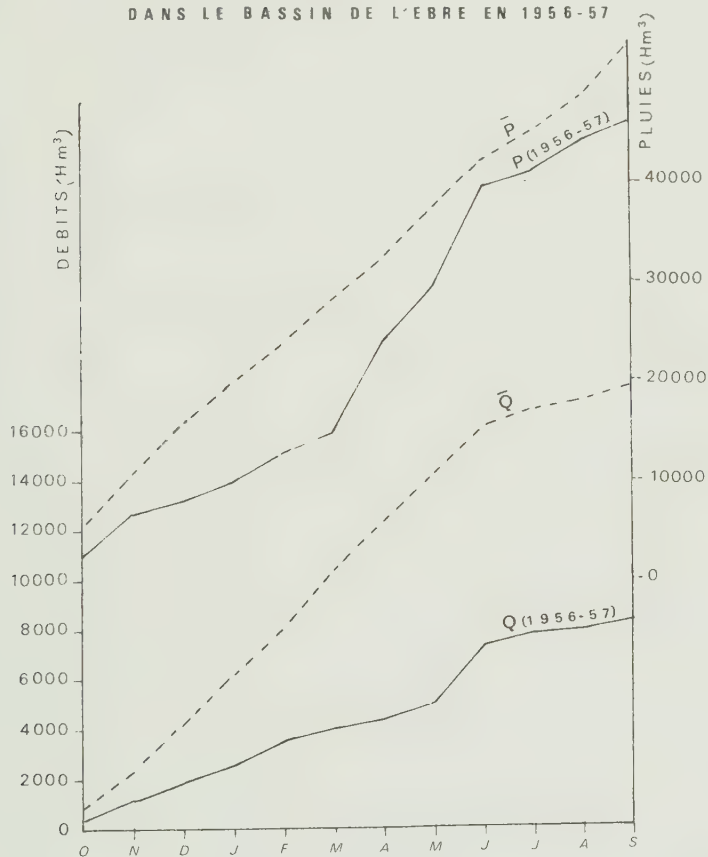
Si l'année 1956 - 57 fut, pour la période 1914 - 1972 celle de plus faible hydraulicité, elle le dût en particulier aux maigres débits qui, de décembre à mars, circulèrent dans le lit du fleuve. Cette pénurie hivernale assez étonnante pour un bassin dont 16 % environ de la surface sont soumis à des pluies océaniques d'hiver, constitue un phénomène originale qui mériterait un essai d'explication.

1°/ Les caractères climatiques de l'hiver 1956 - 57 :

Dès le mois d'octobre, cette année s'est ouverte sous le signe de la sécheresse, une sécheresse encore modérée et localisée au bassin moyen et inférieur. En décembre, les deux courbes de précipitations cumulées s'écartent brusquement. Le déficit s'est étendu à l'amont du bassin et aux Pyrénées et s'est accentué. Il manque 50 mm de pluie en amont d'une ligne Logroño-Haut Aragon, parfois beaucoup plus comme à Reinosa (moins 100 mm). Le reste des Pyrénées accuse un déficit de 25 mm. Ainsi amorcée dès le mois de décembre cette étonnante sécheresse hivernale devait se poursuivre tout au long des trois premiers mois de l'année, et le déficit cumulé atteindre son sommet au mois de mars sur presque toutes les régions du bassin. Ce déficit global s'élève alors à 174 mm, le 1/4 du module pluviométrique. Un deuxième phénomène va agir considérablement sur les débits de printemps : la température : froide en janvier (2° au-dessous de la moyenne sur l'ensemble du bassin), elle se réchauffe rapidement en février-mars pour atteindre des niveaux fort élevés pour la saison. On note 2 à 3° de plus que la moyenne en février, + 3° en mars et même + 4° sur tout l'amont et le bassin moyen. Aux altitudes moyennes, ces

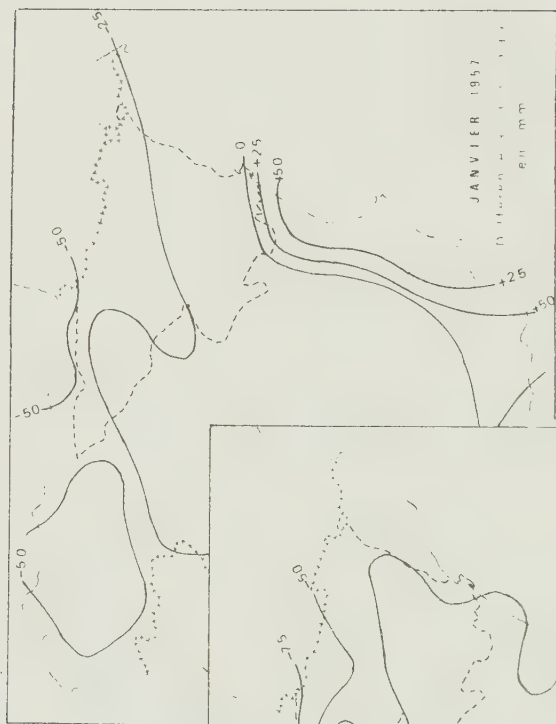
Fig.95:PRECIPITATIONS CUMULEES ET DEBITS CUMULES

DANS LE BASSIN DE L'EBRE EN 1956-57

Pet Q comparés à la moyenne $\bar{P}$ et $\bar{Q}$ de la période 1948-68

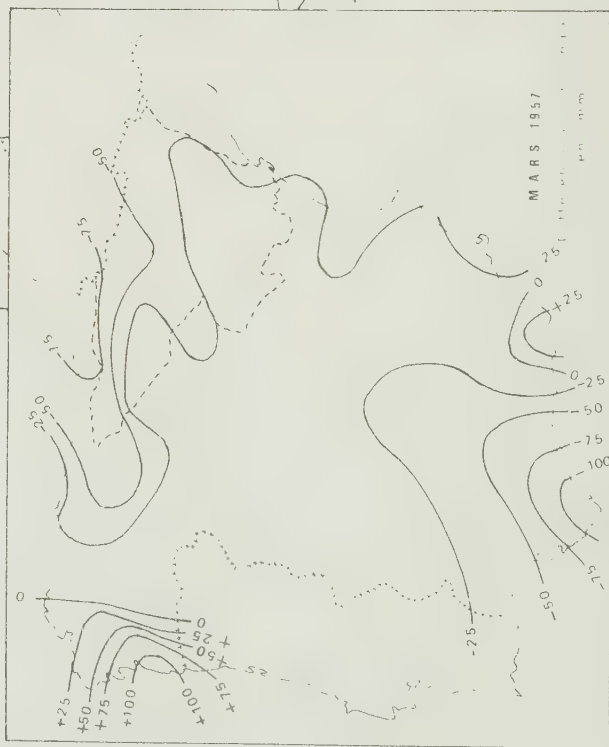
ISANDOMALES DE PLUIE

HIVER 1957



JANVIER 1957

en mm



MARS 1957

en mm

TABLEAU LXVI : LA PLUVIOMETRIE SUR LE BASSIN DE L'EBRE EN 1956-57

Stations	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Reinosa	P 120,9 Δ Δ'	251,9 . .	31,7 - 100	131,5 .	52,7 - 51,3	17,4 - 72,6 39,6	116,4 .	55,3 - 15,7	82,7 .	0,3 - 48,7 13,3	8,4 - 26,6 39,9	48,7 - . 50,9
Zaragoza	P 98 Δ Δ'	21,5 -10 36,2	12,9 - 14 50	2,1 - 16 66	15,4 - 4,6 70,6	14,9 - 10 80,6	19,3 - 7,7 88,3	82,9	84,5	0,3 -16,7 6,7	3,5 - 13,5 20,2	3,3 - 25,7 46
Tortosa	P 45,5 Δ Δ'	37 - 14 34,5	5,1 - 41,9 76,4	11,1 - 13,9 90,3	4,3 - 30,7 121	10 - 31 151	90,1 101	204,1	143,6	5,8 - 13,2	24,8 .	11,9 - 69,1
Bassin Total	P 27,9 Δ Δ'	51,1 - 13,7 52,1	13,3 - 50 102,1	18,1 - 30,7 132,8	36,3 - 12,2 145	24 - 29 175	64,6 160	96,2	129,5	12 - 22,8 83,6	38,1 - 2,2 85,8	32,1 - 31,5 117,3

P : Pluie mensuelle en mm

Δ : Différence à la normale

Δ' : Déficit cumulé

températures ont agi considérablement sur le facteur neige, soit en convertissant en pluie les précipitations qui tombent normalement sous forme solide, soit en provoquant la fonte prématurée de toute une partie du manteau neigeux.

Cette faiblesse de la pluviosité hivernale est liée à une situation aérologique qui s'est caractérisée par le blocage, au-dessus de la Péninsule Ibérique, et pendant de longues périodes, d'une crête planétaire surmontant des anticyclones de surface de nature variée mais qui se sont succédés, presque sans interruption.

Du 1er décembre au 1er mars, nous avons compté 64 jours de situation semblable. D'autre part, le seul épisode de vallée planétaire caractérisée, qui s'est déroulé du 15 au 25 janvier, n'a guère apporté de changement sur le plan pluviométrique. Très vite en effet, l'orientation des centres d'action aussi bien en altitude ou le flux zonal adopte un tracé en "Z", qu'en surface, contribue à projeter sur le S et le SW de l'Europe des masses d'air polaire continental froid. Ainsi s'est constitué, de l'Espagne aux Alpes, un anticyclone thermique assez puissant, malgré sa faible épaisseur, pour neutraliser les fronts qui l'abordaient. Fin février-début mars, un régime de SW s'établit sur toute l'Europe occidentale. Des masses d'air d'origine très méridionale remontent alors vers le continent, apportant les calories qui vont déterminer des températures anormalement élevées. On note 4° de plus que la normale sur tout le bassin moyen et amont de l'Ebre, et 3° de plus sur le reste du bassin. Mais les perturbations qui cheminent sur le proche Atlantique dans la direction SW-NE et qui effleurent la pointe de la Galice et le N du Portugal avant d'aborder l'Europe du NW, n'intéressent pas le reste de la péninsule. Celle-ci reste protégée par un an-

tycyclone étiré des Canaries aux

2°/ Les caractères hydrologiques :

Le déroulement des événements climatiques explique les caractères de l'écoulement au cours de cet hiver exceptionnel qui groupe à Tortosa presque tous les minima mensuels de débit pour la période étudiée : ceux des mois de janvier, mars et avril, tandis que décembre et février sont au 2ème rang derrière décembre 1958 et février 1969. Cette faiblesse observée sur le cours inférieur est générale. A Saragosse, et sur les affluents pyrénéens, jamais depuis 1949, le niveau n'avait été aussi bas en mars-avril. Cette pénurie aussi bien en valeur relative, par rapport aux autres années, qu'en valeur absolue, atteint donc son point culminant à la fin de l'hiver et au début du printemps où les débits d'avril tombent sur le cours inférieur à 295 m³/s soit 40 % de la moyenne du mois. On notera qu'il s'agit là d'une valeur souvent dépassée au cœur même de la saison chaude, et qui approche des niveaux auxquels se tiennent parfois les Qm (20) lors de certaines années à étiages particulièrement abondants .

On pense par exemple à l'été 1972, dont le Qm (20) situé en août n'est pas descendu au-dessous de 280 m³/s. Or, ces faibles débits du printemps 1957 sont atteints au moment où les pluies connaissent un certain redressement qui va d'ailleurs permettre des étiages de juillet point trop misérables. Ce décalage est un phénomène courant lié au temps de réaction des nappes le~~s~~quel est d'autant plus accentué que la sécheresse a été plus longue et les réserves plus proches de l'épuisement. Mais dans ce cas précis, le retard a été encore aggravé par deux faits précis :

D'abord, la faiblesse de la fusion nivale : il est tombé

peu de neige au cours de l'hiver et une grande partie de cette neige a fondu prématurément au cours du mois de mars du fait des hautes températures qui ont justement affecté essentiellement les zones enneigées. La deuxième raison de ce décalage, réside dans la nécessité de remplir les réservoirs après plusieurs mois de faible hydraulicité et à la veille de l'ouverture de la saison d'arrosage.

Ainsi la succession au-dessus de l'Ibérie, et pendant presque toute la saison froide, d'anticyclones d'origine variée, a assuré au bassin de l'Ebre de longues périodes de protection. Les lames d'eau, partout très inférieures à la normale, n'ont pas réussi à provoquer la remise en charge des nappes, d'autant que l'automne précédent déjà déficitaire, avait empêché une bonne humidification du sol. On comprend que les débits ne soient effondrés partout à des niveaux rappelant parfois les étiages d'été.

CONCLUSION

L'étendue du bassin, la multiplication des ouvrages de régulation, le volume des pompages, nous ont rendu particulièrement difficile l'étude des étiages dans le bassin de l'Ebre. Et pourtant, c'est là un phénomène hydrologique fondamental, tant à cause de son importance dans la vie même des rivières, et de l'Ebre en particulier, que par ses incidences économiques et humaines. C'est pourquoi il était nécessaire d'aller le plus loin possible dans la description de ces étiages et l'explication de leurs mécanismes.

Cette étude nous a montré en particulier comment le climat, la nature du sol, l'action des hommes se combinaient pour diversifier les modalités spatiales et temporelles de la pénurie.

Sur le plan spatial, nous nous sommes efforcée de déterminer des types d'étiages liés au milieu géographique. Nous avons été amenée ainsi à opposer les étiages d'hiver, abondants et réguliers des

rivières navales, aux maigres d'été très prononcés des rivières pluviales de la Dépression Centrale ; les étiages abondants des rivières karstiques, aux assèchements plus ou moins prolongés des torrents méditerranéens. Nous avons encore remarqué que les maigres étaient atténués (et aussi déplacés dans le temps) au sortir des barrages de régulation, accentués au contraire à l'aval des prises d'eau

Sur le plan temporel, nous avons mis en évidence des variations interannuelles qui, sur certaines rivières, et l'Ebre en particulier peuvent être très importantes. Ces variations sont liées aux fantaisies du climat, mais plus particulièrement du climat hivernal et printanier, lequel agit sur les réserves hydriques du sol et surtout des nappes, et sur les réserves navales. La sécheresse et la chaleur estivales nous ont apparu par contre, des éléments d'explication relativement secondaires. Les exemples analysés ont montré qu'un été pluvieux n'était pas forcément générateur d'une hydrologie estivale abondante. Si le début de l'année a été sec, la pluie n'exerce sur les débits qu'un rôle immédiat et éphémère, conséquence du ruissellement superficiel. Mais son action sur les nappes et par conséquent sur la profondeur des étiages est pratiquement nulle ; ceci résulte de la puissance, à cette saison, de l'évapotranspiration, et de la faiblesse de l'infiltration dans de vastes secteurs de la Dépression Centrale, aux sols argileux encroûtés par la sécheresse.

Dans l'ensemble, bien que l'Ebre et nombre de ses affluents nous apparaissent favorisés par rapport à bien d'autres rivières ibériques et méditerranéennes en général, l'impression qui domine est

celle d'une grande indigence des débits estivaux. Indigence d'autant plus pesante que les besoins en eau vont croissants et ici plus encore que dans la plupart des autres pays d'Europe, du fait d'une sécheresse estivale importante qui s'étend sur une grande partie du bassin.

- CONCLUSION GENERALE -

Tel nous apparait le régime de l'Ebre, à la lumière d'une étude portant sur les soixantes dernières années, soit une période qui présente l'avantage de comporter une série d'années très sèches, les années 40 et 50, d'étiages très prononcés, et une période humide, celle qui couvre les années 60, riche en crues d'origine variée. De plus cette période a vu l'aménagement progressif du bassin, la construction de nombreux barrages, la multiplication des prises d'eau, de sorte que le régime d'aujourd'hui est quelque peu différent de ce qu'il est apparu aux yeux des premiers ingénieurs et des géographes qui ont étudié ce fleuve : L. Pardo, V. Masach Alavedra et M. Pardé. La mise en service récente de nouveaux barrages, sur le Cinca en particulier, l'extension de la politique d'irrigation et l'accroissement des besoins en eau en général, enfin les aléas du climat, risquent de modifier encore la vision que nous avons aujourd'hui du grand fleuve du Nord de l'Espagne.

Quoi qu'il en soit, l'Ebre nous est apparu comme un fleuve complexe, entré trop tard dans le domaine méditerranéen pour en refléter pleinement les caractères. En effet, à l'intérieur de son vaste

bassin de 85.000 km², des milieux naturels variés se cotoient, générateurs de conditions d'alimentation et d'écoulement différentes.

A l'amont du bassin, la montagne cantabrique relève du domaine de la moyenne montagne océanique. Son originalité sur le plan hydrologique réside moins dans les hautes eaux d'hiver que l'on retrouve sur la plupart des rivières méditerranéennes que dans la fréquence des crues à cette saison ; ces phénomènes se produisant plutôt à l'automne ou au printemps sur les organismes méditerranéens (au moins ceux de la façade NW de la Méditerranée). Comme ces crues sont souvent assez extensives pour intéresser le tiers occidental des Pyrénées, elles ont sur le fleuve un très grand retentissement. La crue maximale annuelle de fréquence 10 % est aujourd'hui, aussi bien à l'aval qu'à l'amont du fleuve, une crue d'hiver pyrénéo-cantabrique. Au total, cette région qui n'occupe que le 1/12 du bassin versant, apporte à l'Ebre le 1/6 de son débit.

L'Ebre inclut dans son bassin de vastes secteurs de haute montagne, bien arrosés (1000, 1500 et jusqu'à 2000 mm/an) et où la neige joue, du fait de l'altitude, un rôle parfois très important. En effet, 1/4 du bassin est situé au-dessus de 1000 m et près de 8 % encore dépassent 1500 m. Ces hautes surfaces se situent essentiellement dans les Pyrénées, accessoirement dans la Cordillère Ibérique. C'est donc aux Pyrénées surtout que l'Ebre doit sa belle abondance et sa deuxième place dans le concert des fleuves ibériques. Il leur doit encore, par le biais de l'influence nivale, un prolongement vers le début de l'été de la période de hautes eaux. C'est encore la neige, plus précisément la rétention nivale qui incurve légèrement la courbe

des variations saisonnières du cours inférieur, au niveau des mois de janvier et février. L'influence des Pyrénées est donc fondamentale tant en ce qui concerne l'abondance—cette montagne fournissant par l'intermédiaire de quatre grandes rivières seulement, les 2/3 du débit (360 m3/s)—, que le régime saisonnier du fleuve.

Une grande partie du bassin moyen relève d'un milieu méditerranéen à nuance continentale très accusée. Cette continentalité détermine une semi-aridité que reflète la végétation de steppe de la cuvette aragonaise. Sur le plan hydrologique, ce secteur est caractérisé par le développement de l'endorréisme et un écoulement intermittent au fond de "barrancos" à profil en U. Seules, quelques rivières allogènes traversent cette zone dont le rôle sur l'hydrologie du fleuve est essentiellement négatif. En effet, en dehors des périodes de crue, elle ne fournit pratiquement aucun débit. Par contre, elle est grande consommatrice d'eau, aussi bien agricole, du fait de la puissance de l'Etp et de l'importance du déficit hydrique des sols, que industrielle. La Dépression Centrale contribue donc à essentiellement affaiblir le bilan de l'écoulement, en particulier de l'écoulement estival.

Le bassin inférieur appartient presque entièrement à un milieu de moyenne montagne méditerranéenne dont seule la partie sous le vent verse à l'Ebre. Malgré ce, cette région connaît en automne des excès assez spectaculaires que tempèrent aujourd'hui les barrages de régularisation.

Le fleuve intègre toutes ces nuances, mais dans son régime saisonnier, on voit ressortir essentiellement trois influences : l'in-

fluence nivale de la haute montagne pyrénéo-ibéro-cantabrique, celle des pluies méditerranéennes et méditerranéennes continentales de mars et mai qui renforce la précédente ; enfin, l'influence contraire de la chaleur estivale qui pèse surtout sur le bassin moyen et le versant méditerranéen, entraîne le prélèvement par évapotranspiration de quantités importantes de liquide et le creusement jusqu'à des niveaux très bas, de la courbe des variations saisonnières.

Quant à ses excès, le fleuve les doit en ce qui concerne les crues, à l'influence atlantique pour les plus fréquentes, méditerranéenne et pyrénéenne pour les plus violentes (au moins en l'absence d'aménagements). Cependant, contrairement à ce qu'on était en droit d'attendre d'un organisme méditerranéen de cette envergure, l'Ebre ne s'est pas révélé extraordinairement torrentiel. Depuis 1937, date de la dernière grande crue, on ne trouve plus, au niveau des phénomènes de premier ordre que des crues océaniques d'hiver, venues de l'amont, et dont la puissance est tout à fait modérée, puisque le maximum, enregistré en janvier 1961 n'a donné que 4580 m³/s, ce qui représente une valeur de 16 seulement pour le coefficient A. Sans doute, l'homme a-t-il une part de responsabilité dans cette relative modération, puisque les crues anciennes semblent avoir été bien plus dangereuses comme le prouvent les repères placés sur la façade de l'Eglise de Cherta sur le cour inférieur ou le tableau de Vélasquez exposé au musée du Prado. Cette peinture montre ce qu'il reste du Pont de Pierre de Saragosse

après la crue de février 1643. De même, les rivières ibériques comme le Jalon ou le Huerva semblent avoir connu au moins jusqu'au XVIIIe siècle, des crues beaucoup plus violentes qu'aujourd'hui. Cette atténuation des crues est en partie le résultat de la politique de construction de barrages activement développée dans le bassin de l'Ebre, et surtout sur les rivières pyrénéennes depuis le début du siècle. Cependant il faut bien avouer que les excès anciens, antérieurs aux aménagements sont loin d'égalier, toutes proportions gardées, ceux des rivières catalanes, cévenoles, ou de l'Apennin ligure, qui ont donné des coefficients A largement supérieurs à 100. Ici, les maxima, s'élèvent à peine à 60 pour les rivières les plus torrentielles du bassin, tandis que le fleuve n'a pas dépassé 10.000 m³/S et A = 35 pour les grandes crues de 1907 et 1937. Ce sont là des chiffres inférieurs à ceux des grands voisins : Garonne ou Douro qui ont atteint 50 pour le Douro et 70 à 75 pour la Garonne. A ce qui nous était apparu au départ comme une des énigmes de ce fleuve, nous pensons avoir apporté deux éléments d'explication, l'un d'ordre géographique, l'autre d'ordre planétaire. Cause géographique : la position d'abri, par rapport aux vents pluvieux de SE, d'une des rivières les plus importantes du bassin : le Sègre. Cause planétaire : les gouttes froides d'altitude, généralement responsables des très grosses averses, semblent fréquenter beaucoup plus la cote catalane entre Barcelone et Valence, que les Pyrénées. Tout ceci nous a été confirmé par l'étude statistique de la pluie maximale de 24 heures qui fait apparaître que, seule la région du delta est capable de connaître ces déluges générateurs de crues foudroyantes, propres aux pays méditerranéens.

Si les crues ne se sont révélées ni très spectaculaires ni très contraignantes pour les populations riveraines, il n'en est pas de même des étiages. Par leur profondeur, leur durée, leurs conséquences sur la vie du pays, ils nous sont apparus comme le fait majeur de l'hydrologie du bassin. Les causes de cette situation, il faut les chercher dans les conditions de semi-aridité qui règnent sur une partie du bassin, et dans l'action des hommes.

La sécheresse, dont la végétation du matorral, voire de steppe donne une idée, résulte de la conjonction de trois faits : un fait planétaire, la longitude, qui place le bassin de l'Ebre sous le couvert de l'anticyclone des Açores ou de l'anticyclone nord-atlantique pendant une grande partie de la saison chaude, un fait régional, l'influence de la Méditerranée, un fait de géographie locale, la continentalité de tout le bassin moyen, à la seule exception des Pyrénées. Ainsi s'explique la puissance de la sécheresse : sécheresse climatique que traduit l'indigence des modules pluviométriques (321 mm à Saragosse, et 50 % du bassin crédité de moins de 500 mm de pluie), sécheresse édaphique : 300 mm de déficit hydrique de Logroño à la mer. Seule la frange montagneuse du N et la pointe occidentale du bassin, sous influence océanique, ne connaissent pas de problème.

A la faiblesse de l'alimentation hydrique s'ajoute une circonstance aggravante : l'action des hommes. Il existe aujourd'hui dans le bassin quelques 650.000 ha de terres irri-

guées. A raison de 8000 m³ d'eau par saison et par hectare, cela représente une consommation moyenne de 5200 hm³ d'eau. Réparti sur l'année, ce volume représenterait un débit de 200m³/S. Ces prélèvements contribuent à aggraver un budget déjà très déficitaire et surtout à creuser dangereusement les étiages estivaux.

Tout ceci se traduit, malgré le rôle compensateur des neiges pyrénéennes, par des étiages profonds et durables. A l'exception de l'Ebre lui-même, presque toutes les rivières de la dépression centrale sont capables de s'assécher en été pour un temps plus ou moins long. Au niveau de Tortosa on a vu le fleuve rouler moins de 30 m³/S pendant plus d'un mois et moins de 20 m³/S pendant 17 jours consécutifs au cours de l'été 1965.

Ces étiages apparaissent aujourd'hui d'autant plus préoccupants que les besoins en eau s'accroissent chaque jour. En effet, aux utilisations agricoles qui ont connu un développement presque constant depuis l'Antiquité et peut être les temps préhistoriques, et se sont accélérées de nos jours, sont venues s'ajouter récemment les utilisations industrielles. Celles-ci sont liées essentiellement au développement considérable du pôle industriel de Saragosse. Enfin, il existe à l'heure actuelle de vastes projets relatifs à l'alimentation partielle de la région de Barcelone par les eaux de l'Ebre. La divulgation de ces projets a récemment jeté l'émoi parmi les populations aragonaises où l'on a vu ressurgir la hantise sé-

culaire du manque d'eau. Il est vrai que si, pendant les 3/4 de l'année des volumes liquides considérables sont rejetés à la mer, qui pourraient être utilisés, les débits estivaux sont, dans l'état actuel des aménagements, incapables d'assurer une alimentation régulière à une pareille masse de population. De nouveaux aménagements s'imposent donc qui assureraient le contrôle total de l'écoulement. C'est la condition indispensable à une utilisation maximale de cette richesse inestimable que représente aujourd'hui l'eau pour les habitants de la vallée, et de tout le Nord de l'Espagne.

B I B L I O G R A P H I E

I - GEOMORPHOLOGIE -

- CARTES ET ATLAS -

Nuevo Atlas de España : Aguilar, Madrid, 1961.

Mapa topografico nacional 1/50.000e: Instituto Geografico y Cadastral.
Feuilles correspondant au bassin de
l'Ebre.

Mapa militar itinerario de Espana : 1/200.000e
Feuilles n° 14-15-16-17-18-19-25-26-27-
28-36-37-38-47-48.

Cartografía militar de España - Plano Director : 1/25.000e.

Guia cartografica - Ascensiones - Escaladas - Turismo. Comprenant :

! note géographique,
des itinéraires d'ascension,
! carte au 1/25.000e.
Editorial Alpina, Granollers.

Guides parus : Sant Maurici : Llopis Llado (N.)
La Maladetta : De Semir (R)
Moixero-la-Molina. Llopis Llado (N) et Coll (X)
Serra del Cadi y Pedraforca : Llopis Llado (N) y
et Coll (X)
Posets : Llopis Llado (N)
Ribagorça : de Semir (R)
Andorra : Sectors fronterers: Llopis Llado (N) y
Llobet (S)
Puigmal : Llopis Llado et Coll (X)
Pic d'Estats : de Semir (R)
Montsent de Pallars : Vila Blanch (R)

Mapa geologico de la Peninsula Ibérica, Baléares y Canarias : 1/100.000e.

Instituto geologico y Minero de Espana, Madrid, 1966.

Mapa geológico de España au 1/50.000e Feuilles correspondant au bassin de l'Ebre

Mapa litológico de España Peninsular et Insular, 1/500.000e, 4 feuilles, notice explicative Pac Ordo Riba Ardeniu, Madrid, 1969.

- OUVRAGES -

- ALMELA (A.) et RIOS (M.), 1952. - : 1952. - Estudio geológico de la zona subpirenaica aragonesa y de sus sierras marginales. Actas del I Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos. Inst. Est. Pir. Zaragoza, 28 p.
- ALMELA (A.) et RIOS (M.), 1960-62. - : 1960-62. - Structure d'ensemble des Pyrénées aragoneses et découvertes récentes dans cette région. Livre à la Mémoire de Paul Faillot. Publié Sté. Géol. de Fr.
- BARRERE (F.), 1952. - : 1952. - La morphologie des Sierras Oscenses. I Congreso Internacional de Estudios Pirenaicos, t. V, Sec. IV, Zaragoza, p. 51-80.
- BARRERE (F.), 1952. - : 1952. - Le relief des massifs granitiques du Néouvielle, de Caurerets et de Panticosa. Rev. Géogr. Pyr. et S.O., Toulouse, p. 69-98.
- BARRERE (F.), 1962. - : 1962. - Reliefs murs perchés de la Navarre Orientale. Rev. Géogr. Pyr. et S.O., Toulouse.
- BIROT (P.), 1937. - : 1937. - Recherches sur la morphologie des Pyrénées Orientales franco-espagnoles. Thèse Paris, 318 p., 65 fig., 6 planches, 16 photos.
- BIROT (P.), 1959. - : 1959. - Esquisse morphologique des Monts Celtibériques orientaux. Bull. Comité des Trav. Hist. et Scientif., Paris, p. 102-130.

- BOISSEVAIN (H.), 1934. - : 1934. - Etude géol. et géomorphol. d'une partie de la haute vallée du Sègre Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, t. LXVI, p. 31-170, 1 carte.
- BOMER (B.), 1954 - 1955. - : 1954-1955. - Trois aspects du contact entre Monts Gélitibériques occidentaux et Bassin de l'Ebre. Bull. Ass. Géogr. Français, 1954, n° 23-240, p. 35-4. 3 fig. et Estudios Geográficos, n° 59. Madrid, p. 429-436.
- BOMER (B.), 1956. - : 1956. - Aspects morphologiques du bassin de Calatayud-Daroca et de ses bordures. Bull. Ass. Géogr. Fr., n° 261-262, Paris, p. 186-194, 2 fig.
- BOMER (B.), 1957 a. - : 1957 a. - Grands traits structuraux du bassin de l'Ebre. INQUA 5ème Congrès International, Livret Guide de l'Excursion n° 1: Pyrénées. Madrid, Barcelone.
- BOMER (B.), 1957 b. - : 1957 b. - Les terrasses du Gallego. INQUA 5ème Congrès International, Livret Guide de l'excursion.
- BOMER (B.), 1958. : Quelques remarques sur le réseau hydrographique de l'Ebre supérieur Actas del tercer Congreso de Estudios Pirenaicos, t. I., Girona.
- BRINKMANN (R.), 1960 - 62. - : Aperçu sur les chaînes ibériques du Nord de l'Espagne. Livre à la Mém. de Paul Fallot. Publ. Sté. Géol. de Fr. 1962., pp. 291 - 300
- CASTERET (N.), : Le Problème du Trou du Toro. Détermination du rio Esera et de la Garonne occidentale. Bull. Sté. Hist. Nat. de Toulouse, t. 61., fasc. 1, pp. 89-132.

- IV -

- DANTIN CERECEDA (J.), 1942 a. - : Distribución y extensión del endemismo atagónés. Estudios Geográficos, n.º 6, Madrid.
- DANTIN CERECEDA (J.), 1942 b. - : Localización del endemismo atagónés. An. As. Esp. F. G. y Cien., VII, 1, Madrid.
- DALLONI (M.), 1930. - : Etude géologique des Pyrénées de l'Atagón. Ann. Fac. S. Mat. Nat. Hist., t. XIX.
- DALLONI (M.), 1930. - : Etude géologique des Pyrénées Catalanes. Alger.
- DE LIZAUT (J.), 1948. - : Estudio sobre las conexiones subterráneas de las abeceras de las Pirineas y Gacinas. Libro Jubilar 1848-1948. T. II, Madrid, pp. 381-425.
- FALLOT (P.) et BATALIER (J. R.), 1927. - : Itinerario de ríos del Baj Aragón y el Maestrazgo. Mem. Real Ac. Cien. Exact. Nat. 3.ª ep., t. 20, n.º 8, 143 pp., 45 fig.
- FERRER REGALES (M.) et MENSUA FERNANDEZ (S.), 1956 a. - : Las rambles del valle medio del Jiloca. Geografica, n.º 9-12, Zaragoza, pp. 59-85.
- FERRER REGALES (M.) et MENSUA FERNANDEZ (S.), 1956 b. - : Las formas de relieve del entro de la depresión de Ebro. Geografica, Año III, num. 9-12, Saragossa, pp. 107-109.
- FONTBOTE (J. M.), 1948. - : El Valle de Tena. Pirineos, Inst. Est. Pirineos, Saragossa, Año IV, n.º 7.

- FRUTOS (L.M.), 1968. - : Consideraciones sobre la geomorfología de los Yesos en el Valle medio del Ebro. Miscellanea J.M. Lacarra, Zaragoza, pp. 259-265
- GARCIA SAINZ (L.) : Los principales rasgos morfológicos del Ebro medio. Las Ciencias Año IV, n° 3, Madrid
- GARCIA SAINZ (L.) : Les phénomènes d'époque glaciaire et d'évolution karstique dans le val du haut Esera (Espagne). Géogr Annales. Stockholm 12, pp. 323-329
- GARCIA SAINZ (L.), 1933. - : Los vestigios de la época glacial en el valle del Flamisell. Madrid.
- GARCIA SAINZ (L.), 1935. - : Morfología glacial y preglacial de la Noguera. Bol. Soc. Geogr. Nacional, t. LXXV, pp. 64-130, 2 figs., 18 photos, Madrid.
- GARCIA SAINZ (L.), 1936. - : Sobre la morfología de la cuenca Cinca-Sègre. Bol. Soc. Geogr. Nacional, t. LXXVI, Madrid, pp. 19-42, 6 photos.
- GARCIA SAINZ (L.), 1941. - : Les phases épi-glaciaires dans les Pyrénées espagnoles. Estudios Geográficos, n° 3, Madrid, pp. 209-268
- GARCIA SAINZ (L.), 1942 a. - : Evolución morfológica del Valle del Aragón. Estudios Geográficos, n° 6, Madrid
- GARCIA SAINZ (L.), 1942 b. - : Estructura general de la Cuenca del Ebro. Estudios Geográficos, n° 7, Madrid, pp. 249-269.
- HAZERA (J.), 1959 - 1962. - : Formaciones subaridas de Piemonte del surco de Espinosa (cuenca superior del Ebro). Estudios Geográficos, t. XXIII, Madrid, août 1962, et Bull. Assoc. Géogr. frs., n° 282-283, Paris, pp. 41-50.

- HERNANDEZ PACHECO (E.), 1928. - : Los yacimientos de yesos de España y sus relaciones. Trav. Mus. Nat. Cienc. Nat., Ser. Geol., n.º 36, 151 p., 18 fig., 55 photos, Madrid.
- IBANEZ MARCELLAN (M.J.), 1975. - : El endo-sistema de los estratos de la depresión del Ebro. Cuadernos de Investigación Zaragoza, pp. 35-48.
- JOLY (H.), 1927. - : Etudes géologiques sur la haute Sibérie. Publications de l'École Supérieure de Géologie, t. I, n.º 14, 523 p.
- JORNADA DE POZAS (J.), 1950. - : Mapa geológico nacional con Zonas de Agricultura, t. I, II, III. Madrid, Ministerio de Agricultura.
- LAMARE (P.), 1927. - : Recherches géologiques dans les Pyrénées basques d'Espagne. Thèse de Sciences Paris et Mém. Soc. Géol. France, nouv. Sér., t. 2, n.º 2, 465 p., 305 fig., 1 pl., 1 carte géol. et 1 carte top. au 200.000e.
- LAMARE (P.), 1952. - : La structure géologique des Pyrénées basques. Actas del Primer Congreso internacional de pirenáistas del Instituto de Estudios Pirenaicos t. II, Section I, (St. Sebastian), 44 p., 1 carte struct. au 200.000e.
- LLAMAS (R.), 1927. - : Los yesos de la cuenca del Ebro y su repartición en las series de estratificación. Bol. Soc. esp. Hist. Nat., Madrid, t. LVI.
- LLAMAS (R.), 1927. - : Estudio geológico técnico de los terrenos yesíferos de la cuenca del Ebro.
- LIOPIS LLADO (N.), 1946. - : Problemas tectónicos de la zona axial pirenaica. Bol. Inst. Geol. y min. España, t. LIX.

- LLOPIS LLADO (N.), 1947. - : El relieve de Alto Valle de Aragón. Pirineos, n° 5 Zaragoza, t. III.
pp. 81-167.
- LLOPIS LLADO (N.), 1945. - : Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales de Pirineos. Miscilánea Almera, Barcelona, t. 5, 1ª parte, p. 159-186, 3 fig., escala técnica au 500.000è.
- LLOPIS LLADO (N.), 1949. - : Sobre la tectónica del Paleozoico de la zona de las Nogueras. Notas y Com. Inst. Geol. y min., España.
- LLOPIS LLADO (N.), 1950. - : Problemas de tectónica alpida de Pirineo. Actas del Primer Congreso de Estudios Pirenaicos, t. II, Section 1., St Sebastien, pp. 45-84.
- LUGEON (M.) et OULIANOR, 1934. - : Géologie de la région de la Noguera Pallaresa en amont de Camarasa. Géologie des pays catalans, Barcelone.
- MACAU (F.) et RIBA (O.) : Situación, características y extensión de los terrenos yesíferos en España.
- MANGIN (J.P.) et RAT (P.), 1960-62. : L'évolution post-hercynienne entre Asturies et Aragón. Livre à la Mém de Paul Faillot. Mém. Sté. Géol. de Fr., pp. 333-349.
- MANGIN (J.P.), 1959 - 1960. - : Le Nummulitique sud-pyrénéen à l'Ouest de l'Aragon. Thèse Fac. Sciences. Dijon 1959 et Pirineos, n° 51 à 58, années XV et XVI, 1960, 63 p., 113 fig., 19 pl., 1 carte géol. au 200.000è.
- MENSUA FERNANDEZ (S.), 1958. - : Evolución morfológica del Valle del Zidacos. Actes III. Congr. Intern. Est. Pirenaicos, Gerona. Instituto de Estudios Pirenaicos, T. IV sección IV, Zaragoza, pp. 74-83.

- MENSUA FERNANDEZ (S.), 1964. - : Sobre la genesis de los glaciares del valle del Ebro y su posterior evolucion microclimatica.
Aportacion española al XX Congreso geografico internacional, Zaragoza, pp 91-196
- PACHECO (E.), 1928 - : Los rios principales de España y sus terrazas. Madrid
- NUSSBAUM (F.), 1949 - : Sur les traces des glaciers quaternaires dans la région de l'Aragon Pyrénées, Saragosse. n° 13-14.
- PANZER (W.), 1948 - : El desarrollo de los valles y el clima de la época cuaternaria en el N.E. de España (1926). Est. Geogr., num 30, Madrid, pp. 79-110
- PINCHEMEL (P.), 1950. - : L'étude des réseaux hydrographiques. B. Assoc. Geogr. franç., Paris, n° 208-209, pp 72-80, 2 fig
- PUJOL (E.), 1970 - : Le Sègre, étude hydrologique. DES non publié, Montpellier, 95 p., 59 fig
- RAT (P.), 1950. - : La structure géologique des Pyrénées basques. Actas del Primer Congreso Intern. de Pireneistas del Instituto de Estudios Pirenaicos, San Sebastian, 44 p., 1 carte structurale au 1/200.000è.
- RAT (P.), 1958 - : Présentation géologique du versant cantabrique entre Pyrénées et Asturies. Actas del 3 Congreso de Estudios Pirenaicos, Gerona.

- RAT (P.), 1959. - : Les pays crétacés basco-cantabriques
(Espagne). Thèse Fac. Sciences, Dijon.
Public. Univ. Dijon (PUF), t. 18,
525 p., 68 fig., 9 pl. dont 1 carte
géol. au 200.000è.

- RIBA (O.) et RIOS (J.M.), 1960-62.: Observations sur la structure du ter-
teur Sud-Ouest de la Chaîne Ibérique
Livre à la Mém. de Paul Fauriol. Pub.
Sté. Géol. de Fr., pp. 275-290

- RIBA (O.), 1964. - : Estructura sedimentaria del terreno
continental de la depression del Ebro
en su parte Ricjana y Navarra. Aporta-
ción española al XX Congreso geológico
internacional. pp. 127-138

- RIBA (O.), et BOMER (B.), 1957. - : Les terrasses et glais du bassin de
l'Ebre dans la Ribera de Navarra et
la Rioja Baja. Livret Guide Ex. n° 3
INQUA, Congr. Int. Madrid-Barcelone.
p. 7-10, 1 carte., 1 fig.

- RIBA (O.) et MACAU VILAR (F.), 1962 : Situación, características y extensión
de los terrenos yesíferos en España.
Coloquio internacional sobre las O.P.
en los terrenos yesíferos. Madrid

- RICHTER (G.), 1956. - : Las cadenas ibéricas entre el valle
del Jalón y la Sierra de la Demanda.
Publicaciones extranjeras sobre geol-
ogía de España, T. IX, Madrid, pp. 61-
142.

- RIOS (J.M.), 1956. - : El sistema Cretáceo en los Pirineos
de España. Mem. Inst. Geol. y min-
España, t. 57, pp. 1-128, 36 fig

- ROMIEU (R.), 1960. - : La vallée d'Angoustrine. Bull. Soc. Lang. de Géog. n° 1-2., pp; 49-70.

- SOLE SABARIS (L.), 1942. - : La canal de Berdun. Estudios Geograficos, ano III, n° 7, 47 p., 4 cartes, 3 pl., Madrid.

- SOLE SABARIS (L.), 1944. - : Estudios geológicos en el alto valle del Segre. Llerda, n° 11, fasc. 2, pp. 275-338, 9 fig., 9 pl., Llerida.

- SOLE SABARIS (L.), 1953. - : Terrazas cuaternarias deformadas en la cuenca del Ebro. R. Ac. Cienc. Art. Barcelona, T. 31, n° 7, pp. 239-259, 2 fig.

- SOLE SABARIS (L.), 1954. - : Terrazas cuaternarias deformadas de la cuenca del Ebro. Publié Hist. Geol. Univ. Barcelona, Barcelone.

- SOLE SABARIS (L.) et FONTBOTE (J.M.), 1929. - : Las terrazas del Segre en las inmediaciones de Lérida. Barcelona, 7 p., 8 photos.

- SOLE SABARIS (L.), FONTBOTE (J.M.), MASACHS (V.) et VIRGILI (C.), 1956. - : Elementos estructurales de la zona axial axial en el Alto Ribagorzana. IIè Congrès. Inst. Est. Pyrén., T.2., Toulouse.

- TERAN (M. de), 1952. - : Geografía de España y Portugal. Madrid, T.1. : El Relieve, par L. SOLE SABARIS et N. LLOPIS LLADO.

- TRICART (J.), 1960. - : Les types de lits fluviaux. Inf
Géogr., Paris, n° 5, p. 210-214
- VIERS (G.), 1951. - : Le glacière du massif du Carat et
ses enseignements. Rev. Géogr. Pyr.
et S.O., pp. 5-33
- VIRGILI (C.), 1960-62. - : Le trias du NE de l'Espagne. Livre à
la Mém. de Paul Faillot. Public. Sté
Géol. de Fr., pp. 301-312

- ETUDES REGIONALES -

- CASAS TORRES (J.M.), 1952. - : Curso y conferencia sobre la unidad
y variedad del valle del Ebro. Public.
de la Univ. Intern. Menendez Pelayo,
Santander, Vol. I., 297 p., Vol. II.
352 p.
- CASAS TORRES (J.M.), 1958. - : Notas para un viaje por la cuenca del
Ebro. Discurso leído en la solemne
apertura del curso, 1958-59, Toledo
- CASAS TORRES (J.M.), 1960. - : Aragon, cuatro ensayos - Banco de
Aragon - Zaragoza, T.I. II.
- CASAS TORRES (J.M.) et FONTBOTE (J.M.), 1945. -
: El valle de Tena Pirineos, Anc I,
n° 2, p. 37-107, 9 fig., 16 planches,
Zaragoza.
- CASAS TORRES (J.M.), 1964. - : El valle medio del Ebro. Region geo-
gráfica, Información Comercial Espa-
ñola, Madrid, n° 373, p. 43-53
- FERRER REGALES (M.), 1960. - : La personalidad geográfica de Mon-
gros. Geográfica, Año III, Zaragoza,
p. 59-88.
- FLORISTAN SAMANES (A.), 1957. - : La ribera Tudejana de Navarra. Depar-
tamente de geografía aplicada, Zara-
goza, p. 303.

- GARCIA MANRIQUE (S.J.), 1961. - : La comarca de Baza y Terezana y el Seminario del Menesio. Departamento de geografía aplicada, Zaragoza, p. 30.
- GARCIA SAINZ (I.), - : Las regiones del Ebro medio y sus zonas de regadío. - Estudios Geográficos, año VIII, Madrid, p. 469-49.
- HIGUERAS ARNAL (A.), 1964. - : El regadío en el valle medio del Ebro. Information Commercial Espagnole, Madrid, n.º 33, p. 129-140.
- JORNADA DE FOZAS, 1950. - : Mapa agrario hidrográfico Comarca de Zaragoza. 4 tomos. Madrid.
- LLOBET (S.), 1947. - : El medio y la vida en Andalucía. Instituto J. S. Eixen. Estación de Estudios Patológicos, 340 p., 33 fig., 48 planches. Barcelona.
- MENSUA FERNANDEZ (S.), 1960. - : La Navarra media oriental. Estudio geográfico, Departamento de geografía aplicada, Zaragoza, 186 p.
- SOLE SABARIS (I.), 1951. - : Los Pirineos, Alberto Martín, Barcelona, 624 p., 40 fig., 1 carte., 50 photos.
- SOLE SABARIS (I.), 1963. - : Geografía de Catalunya, Barcelona.
- SORRE (M.), 1913. - : Les Pyrénées méditerranéennes. Colin, Paris, 508 p.
- TERAN (M. de), 1952. - : Geografía de España y Portugal. Madrid, t. IV : 1ª parte. El valle del Ebro, por J. M. Casas Torres. 2ª Parte, La Catalogna por S. Llobet.
- VAILLES y PUGALS (J.), 1949. - : La cuenca del Ribagorzana. Imp. Universal, Barcelona, 1949, 105 p., 35 planches, photo H.T., 1 carte., H.T.

- CLIMAT

- SOURCES -

- Archives et documents divers du Centre Météorologique du bassin de l'Ebre à Saragosse. En particulier :
 - Fiches pluviométriques et thermométriques.
 - "Valores diarios de las precipitaciones en la Cuenca del Ebro", bulletin mensuel donnant les pluies journalières aux 350 stations pluviométriques du bassin, et la carte d'isohyètes du mois (depuis 1967).
- Publications du Service Météorologique National Espagnol (sección de climatología de la Oficina Central del Servicio Meteorológico Nacional) :
 - Boletín mensual climatológico : cahier mensuel, paraissant depuis janvier 1946.
 - Resúmenes anuales de las observaciones efectuadas por las estaciones del Servicio Meteorológico Español.
 - Mapa pluviométrico de España : Lluvias anuales medias 1931-1960, n°20, série D, estadísticas.
 - Calendarios meteoro-fenológicos - Un cahier annuel depuis 1945. Ministerio del Aire, Madrid.

- CARTES -

Outre la carte pluviométrique d'Espagne dressée et publiée par le Service National Météorologique Espagnol,

- Mapa pluviométrico de la Peninsula Ibérica, con memoria explicativa. Par Gonzales Quijano : C.S.I.C Inst. Juan Sebastian Elcano, Madrid, 1946.
- Carte de la pluviosité annuelle du Sud-Ouest de la France et des Pyrénées. 1/500.000è. Gaussen. Min. Trav. Pub., Paris, 1934.

(3 feuilles intéressent les Pyrénées et leur versant sud :
Barcelone, Zaragoza, et Sud-Ouest de la France.

- Atlas pluviométric de Catalunya - Febrer (J.), Memorias,
Patxot, I, 523 p., LIV planches- Barcelona, '930.

- OUVRAGES -

- ANGOT(A.), 1893. - : Le régime des pluies de la Péninsule
ibérique. Ann. Bur. Cent. Meteorol.
T I, 1893 pages B 57 B 94

- BASSOULS (M.), 1956 - : Les différents climats des Pyrénées
orientales. Annales Climatologiques
du Roussillien

- BENEVENT (E.), 1926 - : Le climat des Alpes Françaises. Paris,
Memorial de la Météorologie Nationale,
435 pages.

- BIEL LUCEA (J.), 1943. - : Las masas aéreas troposféricas de Es-
paña. "Universidad", Revista de la Uni-
versidad de Zaragoza, n° 2, p.295-
341, n°3, p.483-523, n°4, p. 677-727,
Zaragoza.

- BIEL LUCEA (A.) et GARCIA DE PEDRAZA (I.), 1962. - : El Clima de Zaragoza y ensayo climatoc-
ológico para el Valle del Ebro. Servicio
meteorológico Nacional. Publicaciones
Serie A (Memorias) n°36, Madrid.

- BIEL LUCEA (A.), 1952. - : El viento en Zaragoza. Servicio Meteoro-
ológico Nacional. Publicaciones Serie D
(estadísticas) n° 12, Madrid.

- BILLAUT (M.), BIROT (P.), CAVALIER (D.) et PEDELABORDE (P.), 1956. - : Problèmes climatiques sur la bordure
nord du monde méditerranéen. Annales
de Geo, T LXX, p 15-39

- BRUNHES (J.), 1904. - : L'irrigation, ses conditions géographiques dans la Péninsule Ibérique et l'Afrique du Nord. Paris, 580 p.
- Centre national de recherche scientifique. Equipe de recherche sous la direction de J. Mouniver : régimes thermo-pluviométriques dans l'Ouest et le Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (période de référence 1946-1965), Gap.
- CASANOBE (G.), 1968. - : Vents locaux en Roussillon. Annales climatologiques du Roussillon.
- CASANOBE (G.), 1963. - : Contribution à l'étude du régime des pluies en Roussillon. Annales climatologiques du Roussillon.
- CASAS TORRES (J.M.), 1964. - : El valle medio del Ebro. Región geográfica. Información comercial española, n° 373, p.43-53. Madrid.
- CASAS TORRES (J.M.), 1960. - : Aragon, cuatro ensayos. Bancos de Aragón, Zaragoza.
- COMELLAS (J.L.), 1963-64. - : Los estados de tiempo en la cuenca de Pamplona. Revista geográfica de información y enseñanza - Instituto J.S. Elcano (C.S.I.C.).
- COUTAGNE (A.), 1942. - : Hydrométéorologie des bassins de haute montagne. Paris, S.H.F., 2 tomes.
- COUTAGNE (A.), 1954. - : Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum. Houille Blanche, Grenoble, pp. 360-369.
- CERECEDA DANTIN (J.), 1940. - : La aridez y el endorreismo en España. Estudios Geográficos, n° 1.
- DANTIN CERECEDA (J.) Y REVENGA CARBONELL (A.), 1941. - : Las líneas y las zonas isoxeras de España según los índices termoplúvométricos. Avance al estudio de la aridez en España. Estudios Geográficos, Madrid, n° 2.

- DAUTY (J.) et LOBERT (A.), - : Détermination des lois de probabilité des intensités et des durées des épisodes pluvieux, des sécheresses et des gelées. Montpellier, 71 pages dactylographiées.

- DAUTY (J) - : Lois de probabilité intensité-durée des épisodes secs Hyd n° 8168.

- DURANDIN, MIRONOVICH et VIAUT (A.), 1938 - : Structure verticale de l'atmosphère en somme entre les Açores et les Bermudes. Mem. ONM, n° 29, Paris.

- ELIAS (F.), 1963 - : Précipitaciones máximas en España. Régimen de intensidades y frecuencias. Dirección general de Agricultura, sección de conservación de suelos, Madrid.

- ELIAS CASTILLO (F.) y GIMENEZ ORTIZ (R.), - : Evapotranspiraciones potenciales y balance de agua en España. Ministerio de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid.

- ESTIENNE (P.), 1956, - : Recherches sur la climatologie du Massif Central. Mémoires de la Météorologie Nationale, n° 43, Paris, 242 p.

- FERNANDEZ ALONSO (F.), 1957. - : Ensayo de revisión de los conceptos de Iberia húmeda, Iberia seca. Estudios geográficos, Madrid, n° 66, pp. 5-35

- FONTAINE (P.), 1951 - : Les gouttes d'air froid sur l'Europe, la Méditerranée et l'Atlantique Est. "La météorologie", Paris, n° 22, pp. 98-101

- FONTSERF (E.), 1948. - : La tramontane et le mistral de la côte catalane "Archiv. Für Meteorologie, geophysik und bioklimatologie I.

- GARCIA DE PEDRAZA (L.), 1964. - : La predicción del tiempo en el valle del Ebro. Servicio meteorológico-Nacional, Publicaciones Serie A (memorias), n° 38.

- GAUSSEN (H.), 1952. - : La pluviométrie ibérique. Rev. Geogr. des Pyrénées et du S.O. TXXIII, Toulouse, 1952, pp. 153-162.

- GIMENEZ SOLER, 1922. - : El problema de la variación del clima en la cuenca del Ebro. Memoria de la Fac. de Letras de Zaragoza. T.I., 129 p.

- GRISOIET (H.) GUILMET (B.) et ARLERY (R.), 1962. - : Climatologie, Méthodes et pratiques. Paris, Gauthiers - Villars.

- HESSINGER, 1949. - : La distribución estacional de las precipitaciones en la Península Ibérica y sus causas. Estudios Geográficos, Madrid, n° 34, pp. 59-128.

- LAUTENSACH (H.), 1962. - : Características y ritmo anual de temperaturas en la Península Ibérica. Estudios Geográficos, Madrid, n° 87, pp. 259-292.

- LAUTENSACH (H.), MAYER (E.), 1960. - : Humiditat und ariditat insbesondere auf der iberischen Halbinsel. Petermanns Mitteilungen, n° 4, p. 249-270, 12 cartes, 17 diagrammes. Résumé par J. Mounier dans Rev. Geogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest, 1961, T. XXXII.

- LE ROY LADURIE (E.), 1967.-: Histoire du climat depuis l'an mil. Paris, Flammarion, 376 p, 31 fig.

- LINES ESCARDOS (A.), 1959. - : Singularidades en el curso anual de los fenómenos atmosféricos, Rev. geofis., n° 69., Madrid

- LINES ESCARDOS (A) . - : Notas acerca de los temporales que atec-
tarons a España durante el año.. Chroni-
que périodique paraissant dans la Rev
Geophysica

- LISO PUENTE (M) y ASCASO LIMA (A) , 1969. - : Introducción al estudio de la evapotrans-
piración y clasificación climática
de la cuenca del Ebro. Anales de la es-
tación experimental de Aula Dei. Zaid-
goza.

- LILOBET (S) , 1947. - : El medio y la vida en Andorra, Baileiro

- LOPEZ GOMEZ, 1959. - : El clima de España según la clasific-
cación de Köppen. Estudios Geográficos,
nº 5 , Madrid.

- LORENTE (J.M.) , 1947. - : La clasificación de los climas según
Thornthwaite aplicada a España "las
Ciencias", nº 1 , pp. 257-280

- LORENTE (J.M.) , 1955. - : La variabilidad de las precipitaciones
atmosféricas sobre España peninsular.
Revista Geofísica, Madrid, pp.229-243.

- LORENTE (J.M.) , 1960. - : Los problemas de la pluviometría en
España. R. Geofísica, nº 74, pp 171-
182, Madrid.

- MASACH ALAVEDRA (V.) , 1947.: Los factores determinantes de la dis-
tribución espacial de los tipos de ré-
gimen de los ríos de la Península Ibe-
rica. Estudios Geográficos, Madrid,
nº 28

- MASACH ALAVEDRA (V.) : El clima, les aigues. Geografia de Cata-
lunya, Barcelona, Aedus, pp.163-222

- MATEO (P) - : Distribución de las frecuencias de las
cantidades de precipitación en el norte
de España. Servicio Meteorológico Nacio-
nal. Publicaciones, serie A (memorias,
nº 39 y 40.

- MENSUA FERNANDEZ (S.), 1968. - : La zonación bioclimática de Navarra
Zaragoza, pp. 363-376.
- MONTSERRAT (P.), 1962. - : El clima subcantábrico en el Pirineo occidental. Actas del IV Congreso de Estudios pirenaicos
- MOUNIVER (J), 1965. - : Evapotranspiration potentielle et besoins en eau. Norcis, Poitiers, n° 47, pp. 349-352.
- PACHECO (F.), 1940. - : La intensidad de las precipitaciones atmosféricas y la acción erosiva de las aguas. Las Ciencias, T. VI, pp.337-358, Madrid.
- PEDELABORDE (P.), 1957. - : La circulation atmosphérique sur les Pyrénées françaises. Paris. C.D.U., 57 p.
- PEDELABORDE (P.), 1970. - : Introduction à l'étude scientifique du climat. Paris S.F.D.E.S., 240 p, 150 fig.
- PEDELABORDE (P), 1957. - : Le climat du bassin Parisien. Thèse Paris, Libr. Médicus, 539 p., Atlas 116 pl.
- PEGUY (Ch.P.), 1952. - : La neige. Paris, P.U.F., Coll. "Que sais-je ?", n° 538, 120 p, 17 fig.
- PEGUY (Ch.P.), 1965. - : Schématisation et représentation cartographique des régimes pluviométriques. B. Assoc. Geogr. Franç. Paris, n°338-339, 120 p, 17 fig.
- PEGUY (Ch.P), 1968. - : Quelques réflexions sur la signification des régimes pluviométriques moyens d'inégales durées de référence. Mel. M. Pardé, Gap, pp. 505-515, 2 fig.
- PEGUY (Ch P), 1970. - : Précis de Climatologie. Paris, Masson, 468 p, 119 fig., 3 lit.

- PEGUY (Ch.P.) et MOUNIER (J.), 1968. - : Une méthode de recherche climatique : l'analyse fréquentielle des précipitations tombées en 24 heures. Ann. de Géog., Paris, T. LXXVII, p. 71-720, 8 fig.
- PIANDE (P.), 1939. - : Neiges et glaces aujourd'hui dans les Pyrénées. Rev. Géog. des Pyrénées et du Sud-Ouest, Toulouse, pp. 85-106
- PUIGDEFABREGAS (J.), 1966. : Avance para un estudio climatológico del alto Aragón. Actas del V Congreso de Estudios Pirenaicos. Jaca. Pamplona, T. II., sección II, p. 115-135
- REMENIERAS (G.), 1965. - : L'hydrologie de l'ingénieur. Paris, Eyrolles, 456 p, fig.
- SCHMITT (R.), 1945. - : El clima de Castilla la vieja y Aragón. Estudios Geográficos, n.º 6
- SERRA (L.), 1960. - : Caractéristiques et causes météorologiques des sécheresses. Fréquence d'apparition. Helsinki. Assoc. Int. Hydrol. Scient., Gentbrugge., pp. 48-59., 7 fig., (Publ. n.º 51).
- SERRA (L.), 1968. - : Répartition temporelle et spatiale des périodes normales ou humides. Mel M. Pardé, Gap, pp. 615-622.
- TAMES (C.). - : Bosquejo del clima de España según la clasificación de Thornthwaite. Bol. INIA, pp. 49-123.
- THORNTWHAITE (C.W.), 1954. - : The measurement of potential evapotranspiration. New Jersey, John P. Mather, 225 p.
- THORNTWHAITE (C.W.) et MATHER (J.R.), 1957. - : Instructions and Tables for computing potential evapotranspiration and the water-balance. New Jersey, Drexel Inst. Technol., Publ. Climatol., vol. X, n.º 3, 311 p.

- TSCHIRHART (G.), 1963. - : Introduction à l'étude des sécheresses
Comm. Ét. débits, Soc. Hydrot. France,
Paris, 8 p. Doc. n. g. 10 118
- TSCHIRHART (G.), 1969. - : Causes et caractéristiques des sécheresses
B. Toulon Inst. Min. Agric., Paris,
n° 237, pp. 79-92, 10 fig.
- TIRRE (L.), 1954. - : Le bilan d'eau des sols - Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Thèse Doctorat A Agric.
Paris, Série A, 152 p.
- TIRRE (L.), 1961. - : Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle.
Ann. Agric. Vol. 12, n° 1, p. 13-49
- VIGNEAU (J. P.), 1971. - : Les pluies d'automne en Roussillon.
Rev. Géog. des Pyrénées et du Sud-Ouest,
Toulouse, pp. 265-292

- LA VEGETATION ET LES SOLS -

- CARTES -

- Mapas de utilización del suelo

- Provincia de Zaragoza

- Provincia de Navarra

por S. Mensua Fernandez et M. Solans Castro. Instituto de Geografía aplicada del patronato "Alonso de Herrera" del C.S.I.C. Madrid, 1966 et 1970.

- Mapa forestal de España : 1/400.000è. Ministerio de Agricultura.

Dirección general de montes, caza y pesca fluvial. Madrid, 1966.

n° 2, 3, 7, 8

- Mapa de cultivos y aprovechamientos de España. Ministerio de Agricultura

Dirección general de Agricultura, Madrid, 1962.

- Mapa de suelos de España : Peninsula y Baleares : 1/2000.000è.

A. GERRA y F. MONTURIOL. Consejo superior de Investigaciones Científicas. Instituto nacional de edafología y agrobiología. "José María Albareda". Madrid.

- OUVRAGES -

- ALBAREDA (J. M.), GUERRA (A.) et MONTURIOL (F.), 1961. -

: Study of the soils of the Ebro Valley.
T.I. : Provinces of Logroño and Navarra.
T.II. : Provinces of Huesca and Zaragoza.
T.III. : Provinces of Barcelona, Gerona, Lérida, Tarragona. Instituto de Edafología y Fisiología Vegetal. Madrid, 105 p.

- ANADON, 1959. -

: La vegetation de los Pirineos. Consigna, n° 223-24, p. 23-26 et 25-28

- BOLOS (O. de), 1958. - : Notas sobre la vegetación de los alrededores de Jaca. Actas del III Congreso de Estudios Pirenaicos.
- BOLOS (O. de), 1960. - : La transición entre la Depresión del Ebro y los Pirineos en el aspecto geobotánico. Ann. Jardin botánico, Madrid, n° 18, p. 200-254.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1948. - : La végétation alpine des Pyrénées Orientales. I. EE. Pirenaicos, Barcelona.
- BRAUN-BLANQUET (J.) et BOLOS (O. de), 1957. - : Les groupements végétaux du Bassin Moyen de l'Ebre et leur dynamisme. A. Estación experim. de "Aula Dei", Zaragoza, n° 1-4, p. 1-260.
- GAUSSEN (H.), 1926. - : Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Sol, climat, végétation, 560 p, 32 pl., 2 cartes hors texte, P. Lechevalier, Paris.
- GAUSSEN (H.), 1958. - : Le hêtre aux Pyrénées espagnoles. Actas del III Congreso de Estudios Pirenaicos.
- JAIME (F.), 1952. - : Visión forestal de la Provincia de Teruel. Separata de Conferencias forestales, Institución Fernando el Católico, Zaragoza, 71 p
- LOSA (M.), 1948. - : Notas sobre la flora y vegetación de la Sierra de Guara (Huesca). Separata de Collectanea Botánica, Vol. II, fasc. 1, Barcelona, p. 65-68.
- LOSA (M.) et MONTERRAT-RECORDER (P.), 1947. - : Aportaciones para el conocimiento de la flora del valle de Ordesa. Collectanea Botánica, vol. I, fasc. 2, Barcelona
- MONTERRAT-RECORDER (P.), 1966. - : Vegetación de la Cuenca del Ebro. Public. Centro. Pir. de Biol. Exp., Jaca, 20 p, 1 carte.

- MENSUA (S.), 1968. - : La zonación bioclimática de Navarra.
p. 363-376.
- NAGORE (D.), 1945. - : Geografía botánica de Navarra. Estudios
Geográficos, Madrid, pp. 241-259.
- REYES PROSPER (E.), 1915. - : Las estepas de España y su vegetación
Madrid, 304 p.
- VIERS (G.), 1955. - : La Forêt d'Irati. Rev. Geogr. Pyr. et
S O
-

- HYDROLOGIE -

- SOURCES -

Annuaire -

- Aforos, 9. Cuencas del Ebro. Centro de Estudios hidrográficos, Madrid., 1 vol. annuel depuis 1914.
- Annuaire hydrologique de la France. Sté Hydrotechnique de France, Paris. 1 vol. annuel depuis 1939.

Archives de la Confédération Syndicale Hydrographique de l'Ebre à Saragosse.

"Heraldo de Aragon". Quotidien publié à Saragosse.

- OUVRAGES -

- BARRERE (P.), 1954. - : Mise en valeur intégrale du bassin de la Noguera Ribagorzana. Rev. de Geogr. des Pyr. et SO., T. XXV., pp. 81-84.
- BAYERRI (E.), 1935. - : Historia de Tortosa y su comarca. Barcelone.
- BENTABOL (H.), 1900. - : Las aguas de España y Portugal. Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, T.V., 2e Série, Madrid.
- BERNIER (J.), 1963. - : Sur les probabilités d'occurrence des sécheresses et des étiages. Commiss. et débits, Soc. Hydrot. France, Paris, 8 p. Dactylog, 10 fig.
- BLASCO IJAZO (J.), 1949. - : Las avenidas del Ebro. Crecidas verdaderamente extraordinarias. 1261-1959. Public. de la Cadiera, Zaragoza, 14 p.

- BOIS (P.), 1967. - : Influence du choix de l'origine de l'année hydrologique sur la distribution des modules annuels particuliers. C.R.A. A. Sci., Paris, T. 264, Série D., pp. 1702-1705., 2 fig.
- BOIS (P.), 1968. - : Quelques exemples extrêmes de variabilité interannuelle de cours d'eau. Mel. Pardé, Gap, pp. 124-131.
- CARERAS CANDI (L.), 1940. - : La navegación en el río Ebro. Notas históricas, Barcelona.
- CASPAR (P.) et DUCLAY (J.), 1964. - : Bilans hydrologiques pour 27 bassins français. Paris, Monogr. Météo. Nat., n° 49, 33 p., 6 tabl., 8 cartes.
- CONFEDERACION SINDICAL HIDROGRAFICA DEL EBRO, 1927. Organización del servicio de estadística matemática. Zaragoza, 32 p.
- CONFERERACION SINDICAL HIDROGRAFICA DEL EBRO, 1929. Red foronómica de la cuenca del Ebro. Zaragoza, 27 p.
- CONSEJO ECONOMICO SINDICAL, 1957. - Aprovechamiento integral hidráulico y de Riegos en la cuenca del Ebro, Zaragoza, 47 p.
- DAUMAS (M.), 1962. - : L'équipement hydroélectrique des Pyrénées espagnoles. Rev. Geogr. Pyr et SO., T. XXXIII., pp. 14-106.
- DAUMAS (M.), 1964. - : La crue du 3 août dans les hautes vallées aragonaises et catalanes. Rev. Geogr. Pyr et SO., T. XXXV., pp. 305-310.
- E N H E R, 1950. - : Realizaciones y proyectos de la Empresa Nacional hidroeléctrica del Ribagorzana. 63 p. nb. photos et planches h.t.
- FERNANDEZ MARCO (J.I.), 1961. - : El canal Imperial de Aragón. Est. Geogr. C.S.I.S., Inst. J.S. Elcano, Zaragoza.

- FONTAINE (P.), 1964. - : Considérations sur le bilan hydrologique. I. Bassins fluviaux de moyenne importance. Paris, Monogr. Meteo. Nat., n° 37, pp. 1-11., 1 fig., 2 tab.
- FONTAINE (P.), 1968. - : Quelques applications particulières du bilan hydrologique. Calcul des débits moyens mensuels d'une rivière. Prévission à longue échéance du caractère de certaines phases du bilan hydrologique. Ibid., n° 67., 18 p.
- FONTSERE (E.) et GALCERAN (F.), 1938. - : Les inundaciones d'octubre del 1937 a l'alt pirineu. Barcelona, 16 p., 15 fig.
- FRECAUT (R.), 1964. - : Eléments d'hydrologie continentale. C.D.U., Paris, 231 p., 30 fig., 1 carte h. t.
- FRECAUT (R.), 1969. - : Les facteurs hydrométéorologiques directs des étiages de saison chaude en milieu tempéré océanique: les étés remarquables chauds et secs. B. Sect. Geogr., Com. Tr. hist. sci., Paris, T. LXXX, p. 195-216, 2 fig., 6 tab.
- FRECAUT (R.), 1973. - : La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique. 840 p., 122 fig., 2 cartes h. t.
- GARCIA SAINZ (L.), 1932. - : El nacimiento del Esera y del Garona. Madrid.
- GONZALEZ QUIJANO (P.M.), 1922. - : Hidrologia general de España. Madrid, 338 p., 99 fig.
- GONZALEZ (S.) et GOMEZ (J.), 1960. - : L'Ebre et ses problèmes. Rev. Agronomía, ano II, n° 6.

- GUILCHER (A.), 1965. - : Précis d'hydrologie marine et continentale. Masson, Paris, 389 p., 217 fig., 8 photos h. t.
- GUILLOT (P.) et DUBAND (D.), 1968. - : Estimation des valeurs extrêmes des crues à partir des précipitations. Mem. M. Pardé, Gap, pp. 263-282, 12 fig.
- GUMBEL (E.-J.), 1956. - : Méthodes graphiques pour l'analyse des débits de crue. La Houille blanche et Rev. Statistique appliquée, I V, n° 2.
- IGNACIO PUIG (S.-J.), 1949. - : Epoocas de sequía y lluvia en España. Ibérica, n° 167, Durante la antigüedad, pp. 138-142.
n° 168, Durante los siglos XVI, XVII, XVIII, pp. 177-181.
n° 169, Durante el siglo XIX, pp. 217-221.
- LACASA (J.), 1958. - : La energía del pirineo aragonés. Instituto de Est. Oscenses, C.S.I.C. Huesca, 102 p.
- LARIVAILLE (P.), 1962. - : Courbes enveloppes des débits de crues en fonction des surfaces réceptrices. Essai de formulation analytique. Paris, Mem. et Tr., Soc. Hydrot. France, Vol. 2, pp. 54-63.
- LLOBET (S.), 1958. - : La energía eléctrica en España. Estudios Geogr. n° 71, pp. 221-240.
- LOPEZ BUSTOS (A.), 1961. - : Descripción meteorológica y foronómica de la avenida del Ebro entre el 20-XII-1960 y el 4-I-1961. Rev. Obras Publ. n° 2955, Madrid, pp. 715-722.
- LOUP (J.), 1960. - : L'Oum er R'bia. Contribution à l'étude hydrologique d'un fleuve marocain. Rabat, 251 p., 35 fig.

- MANFREDI (D.), 1956. - : Biografía del Ebro. Public. españolas,
Madrid, 27 p.
- MASACH ALAVEDRA (V.), 1942.: Las variaciones estacionales en el derrame fluvial de la vertiente sur de los Pirineos. Estudios Geogr., n° 7, pp. 405-422
- MASACH ALAVEDRA (V.), 1948.-: El régimen de los ríos peninsulares. Barcelone, 511 p., 80 fig., Annexe.
- MASACH ALAVEDRA (V.), 1949.-: Aportación al conocimiento del régimen fluvial mediterráneo. Cpte. Rendu du Congrès Internat. de Geogr. T II, Lisbonne, pp. 358-390
- MASACH ALAVEDRA (V.), 1962.-: Aportación a la caracterización hidrográfica del Pirineo. Actas del I Congr. Intern. de Est. Piren., Zaragoza, pp. 229-248
- MESA (A.), 1865. - : Reconocimiento hidrológico del valle del Ebro, Madrid.
- MOUNIER (J.), 1968. - : Les crues sur le versant septentrional cantabrique espagnol. Mel. M. Pardé, Gap, pp. 445-454., 4 fig.
- ORIEUX (A.), GUIN (F.), POUCKET (E.), BARBIA (A.) et SABADEL (H.), 1964 - : Considérations sur le bilan hydrologique. II. Torrents méditerranéens. Paris, Monograph. Météo. Nat., n° 37., pp. 13-35., 12 fig.
- PARDE (M.), 1925. - : Le régime du Rhône. Thèse Doctorat, Lyon, Inst. Et. rhod. et Masson. T.I : Etude générale, 887 p. T.II. : La genèse des crues, 440 p.
- PARDE (M.), 1928. - : Périodicité des grandes inondations et crues exceptionnelles. Rev. Geogr. alp., Grenoble, T. XVI, pp. 459-519

- PARDE (M.), 1932 - : L'abondance des cours d'eau. Mel. R. Blanchard, Grenoble, p. 421-466.
- PARDE (M.), 1936 - : Les cours d'eau les mieux alimentés du monde. Ass. Edimbourg, Ass. Int. Hydrol. Scient., Paris, T. III, pp. 181-194.
- PARDE (M.), 1939. - : Rapport entre l'intensité des pluies et les débits maxima des crues. R. Et. Calamités, Genève, T. II, pp. 131-170, 10 fig.
- PARDE (M.), 1942 - : Cours de Potamologie. Inst. Polytech; Univ. Grenoble. T. I. : Hydrologie fluviale, 246 p. Dactylog. T. II. : Dynamique fluviale, 242 p. Dactylog.
- PARDE (M.), 1946 - : Etudes critiques sur la hauteur des crues. R. Et. Calamités, Genève, T. IX, pp. 1-49, 6 fig.
- PARDE (M.), 1949 a - : Sur les régimes fluviaux méditerranéens. Cptes. Rendus Congr. Intern. Geogr. Lisbonne. T. II., pp. 391-420., 4 fig.
- PARDE (M.), 1949 b - : Le régime des cours d'eau ibériques. Pyrénées, 5, n° 13-14., Zaragoza, pp. 575-655.
- PARDE (M.), 1950 - : Influence de la couverture nivale sur le ruissellement et spécialement sur les inondations. Ass. Oslo, Assoc. Int. Hydrol. Scient., Gant, T. II, pp. 175-181.
- PARDE (M.), 1952 - : Le régime des cours d'eau pyrénéens. Actas del I Congr. Intern. Est. Piren., Zaragoza, T. V., pp. 185-228.
- PARDE (M.), 1954 a - : Sur les progrès récents de l'hydrologie fluviale. Et. et Mem. C.N.R.S., Paris, T. LXIII, pp. 219-222.

- PARDE(M.), 1954. b. - : Les abaques de M.W. Wundt pour évaluer les débits moyens annuels des rivières d'après les précipitations et les températures. A. Geogr., Paris, T. LXIII, pp. 52-56.
- PARDE (M.), 1956 a. - : Les crues survenues en France de 1951 à 1955. Symp. Darcy, Assoc. Int. Hydrol. Scient., Gand, T. III, pp. 207-221.
- PARDE (M.), 1956 b. - : Quelques problèmes relatifs à la climatologie et à l'hydrologie des montagnes. Météorologie, Paris, pp. 231-237.
- PARDE (M.), 1956 c. - : Sobre los coeficientes y déficit de desagüe de las grandes crecidas. Geographica, Saragosse, n° 9-12, pp. 5-29
- PARDE (M.), 1957. - : Etiages surabondants de quelques rivières. Ass. Toronto, Assoc. Int. Hydrol. Scient., T. III, Gentbrugge, pp. 106-113.
- PARDE (M.), 1959. - : Sur la fonte des neiges lors des crues La grande crue alpestre de juin 1957. Rev. Geogr. Alp., Grenoble, T. XLVII, pp. 325-361, 1 fig.
- PARDE (M.), 1960. - : Cours d'hydrologie fluviale. Inst. Geogr. Alp., Grenoble, 145 p. Dactylog.
- PARDE (M.), 1961. - : Sur la puissance des crues en diverses parties du monde. Geographica, Saragosse, n° special, 293 p., 63 fig.
- PARDE (M.), 1964. - : Les régimes fluviaux de la péninsule ibérique. Rev. Geogr. Lyon, T. 39, Lyon, pp. 129-182, 16 fig.
- PARDE (M.), 1965. - : Influence de la perméabilité sur le régime des rivières. Colloq. Geogr., Bonn, T. 7, 100 p., 24 fig.

- PARDE (M.), 1966. - : Les crues du Douro d'après une étude portugaise remarquable. Bol; Informacao dos Servicos hidraulicos, Lisbonne, '31 p.
- PARDE (M.) et CHARTIER (M.), 1960. - : Les crues. Inf. Geogr., Paris, pp. 60-67.
- PARDE (M.) et SANSON (J.), 1950. - : La sécheresse des années 1942-1949 en France. Rev. Geogr. Alp., Grenoble, T. XXXVIII, pp. 369-404. 2 tab.
- PARDO (L.), 1918. - : El plananc del Ebro. Miler, Madrid, 284 p.
- PARDO (L.), 1919. - : La regulacion estival del Ebro. Public de la Acad. Cienc. Exactas fisico-quimicas y naturales de Zaragoza.
- PARDO (L.), 1931. - : La conquista del Ebro. Edit. Herald de Aragon, Zaragoza, 313 p.
- PARDO (L.), 1933. - : Plan nacional de Obras Hidraulicas. Ministerio de Obras Publicas, Centro de Est. Hidrogr. Madrid.
- PINTO DA SILVA (D.), 1968. - : Les grandes crues du Douro. Mel. M. Pardé, Gap, pp. 531-434.
- PUIG (I.), 1959. - : Actividades de "Fueraas electricas de Cataluña S.A.. Rev. Iberica, n° 392 et 394. Barcelona.
- REMENIERAS (G.), 1965. - : L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris, 456 p.
- REPARAZ RUIS (G. de), 1938. - : Hydrologie des cours d'eau catalans. Rev. Geogr. Pyr et S. O. Toulouse, pp. 141-176.
- RIJEKBORST (H.), 1967. - : Hydrology of the upper Garonne basin. (Valle de Aran, Spain). Leidse.

- ROCHE (M.), 1968. - : Les équations générales de l'écoulement.
Mél. M. Pardé, Gap, pp. 385-395
- ROCHEFORT (M.), 1963. - : Les fleuves. P.-U.F., Coll. "Que sais-
se ?", n° 1077, Paris, 128 p., 20 fig.
- RODIER (J.-A.), 1964. - : Irrégularité temporelle des cours d'eau
et les facteurs qui la conditionnent.
Ass. Berkeley, Assoc. Int. Hydrol.
Scient., Gentbrugge, pp. 207-213.
- SANSON (J.), 1949. - : Contribution à l'étude des crues de
quelques rivières languedociennes Cotes-
rendus du Congrès Int. de Geogr. de
Lisbonne, T. I, p. 421
- TERRER (J.), 1950. - : L'irrigation dans l'Espagne péninsulaire.
Est. Geogr. n° 39, Madrid, pp. 251-
320.
- TRICART (J.) et HIRSCH (F.), 1960. - : Relations entre le débit et la super-
ficie des bassins fluviaux. A. Geogr.,
Paris, T. LIX, pp. 449-461
- VANNEY (J.-R.), 1970. - : L'hydrologie du bas-Guadalquivir Pu-
blic. Inst. Geogr. Aplicata "A. de
Herrera", Madrid, 175 p, 85 fig.
- VIVIAN (H.), 1966. - : Les modalités de l'écoulement des eaux
au Portugal. Rev. Geogr. Pyr et SO
T. XXXVII, Toulouse, pp. 145-176, 5 fig.

TABLE DES FIGURES

	<u>Pages</u>
Fig. 1. Hypsométrie des bassins versants -----	21
2. Courbes hypsométriques des principaux bassins affluents ----	22
3. Schéma de l'organisation du réseau de l'Ebre -----	154
4. Fréquence saisonnière des flux perturbés -----	195
5. Les gradients pluviométriques dans les vallées pyrénéennes et cantabriques -----	205
6. Les gradients pluviométriques dans les vallées de Système Ibérique -----	214
7. Histogramme des précipitations annuelles à 10 stations du bassin de l'Ebre -----	225
8. Répartition statistique des pluies annuelles à Reinosa, Saragosse et Tortosa -----	226
9. Les modules pluviométriques à Reinosa, Saragosse et Tortosa	229
10. Lames d'eau annuelles moyennes sur le bassin de l'Ebre ----	231
11. Variations saisonnières de la pluviométrie : I. Versant pyrénéen -----	237
12. Variations saisonnières de la pluviométrie : II. Au long de la vallée de l'Ebre -----	238
13 et 14. Cartes des régimes pluviométriques dans le bassin de l'Ebre -----	246
I. Epoque de maximum	
II. Epoque du minimum	
15. Carte du nombre de jours de précipitations -----	257
16. Distribution des valeurs des précipitations journalières ---	258
17. et 18. Décomposition du régime en apports d'intensité donnée	
I. Stations pyrénéennes -----	261
II. Stations de la vallée de l'Ebre et du versant Ibérique -----	262

	<u>Pages</u>
19. Pluies maximales de 1,2... 8 jours consécutifs à quelques stations de la vallée de l'Ebre -----	267
20 Pluies record dans le bassin de l'Ebre -----	269
21 Carte de la pluie maximale de 24 h -----	270
22 Les pluies maximales de 24 h à Reinosa, Saragosse et Tortosa: étude statistique -----	277
23 Carte du nombre annuel de jours de neige -----	286
24 Carte des températures dans le bassin de l'Ebre -----	289
25 Carte de l'isoamplitude thermique annuelle -----	300
26 Carte des vents dans la vallée de l'Ebre -----	327
27. Le vent à Saragosse -----	328
28. Extension des steppes dans le bassin de l'Ebre -----	348
29. Carte de l'Etp annuelle -----	355
30 Carte de l'Etr annuelle -----	356
31 Bilan hydrique des sols : I.Région vasco-cantabrique -----	361.
32 " " II.Versant pyrénéen -----	362
33. " " III.Versant N du Système bérique ---	363
34. " " IV.Vallée de l'Ebre -----	364
35 Le régime du Zadorra -----	383
36. Les variations saisonnières : les rivières cantabriques -----	384
37 Le régime de l'Aragon à Caparrosos -----	395
38 Le régime du Gallego à Ardisa -----	396
39. Le régime du Cinca à Fraga -----	399
40 Le régime du Sègre inférieur -----	400
41. Répartition statistique des modules des affluents pyrénéens -	403
42. Les variations saisonnières : Réseaux du Gallego et du Cinca -	407
43. " " : Réseau du Sègre -----	408
44 Modifications du régime saisonnier du Gallego et de l'Aragon -	413
45. Les variations saisonnières : Réseau de l'Aragon -----	414

46	Les variations saisonnières : Affluents du Système Ibérique (secteur amont) -----	418
47.	Répartition statistique des modules des affluents du Système Ibérique -----	42
48.	Les variations saisonnières : Affluents du Système Ibérique-----	422
49.	Le régime du Jaion à Huermeda -----	425
50.	Le régime du Guadalope à Alcañiz , -----	426
51.	Régime des entrées et sorties dans les retenues :	
	I. Tremp-Camarasa et El Grado ---	445
52.	" " II. Reñosa ---	446
53.	" " III. Yesa et Oliana -----	448
54.	Les modules de l'Ebre à Miranda , Saragosse et Tortosa ----	465
55.	Répartition statistique des modules à Miranda, Saragosse et Tortosa -----	466
56.	Corrélation entre les débits de Fayon et ceux de Tortosa ----	468
57.	Les variations du module de l'Ebre à Tortosa -----	474
58.	Le régime de l'Ebre à Miranda -----	477
59.	Le régime de l'Ebre à Saragosse -----	482
60.	Le régime de l'Ebre à Tortosa -----	489
61.	Les variations saisonnières au long de l'Ebre -----	493
62.	Corrélations pluies-débits dans le bassin de l'Ebre -----	502
63.	Les plus hautes crues de l'Ebre à Cherta -----	519
64.	Fréquence de la crue maximale annuelle à trois stations du cours de l'Ebre -----	527
65.	Fréquence de la crue maximale annuelle sur les affluents de l'Ebre -----	531
66.	Courbe enveloppe des crues dans le bassin de l'Ebre -----	544
67.	Les modalités de la propagation des crues au long de l'Ebre -	562
68.	Hydrogramme de la crue de novembre 1965.-----	567

	<u>Pages</u>
69 Hydrogramme de la crue d'octobre 1965 -----	568
70 Hydrogramme de la crue de février 1952 -----	598
71 Isogrammes de pluies de décembre 1960 -----	601
72 Hydrogramme de la crue de décembre 1960 - janvier 1961 --	602
73 Hydrogramme de la crue de juin 1960 -----	609
74 Hydrogramme de la crue du 3-8 octobre 1960 -----	613
75 Hydrogramme de la crue du 22 octobre au 4 novembre 1960 -	614
76 Hydrogramme de la crue de novembre 1966 -----	641
77 Hydrogramme de la crue de janvier 1960 -----	644
78 Hydrogramme de la crue de novembre 1961 -----	647
79 Hydrogramme de la crue de décembre 1959 -----	649
80 Les étiages des affluents de l'Ebre -----	673
81 Date des étiages dans le bassin de l'Ebre -----	674
82 Les étiages de l'Ebre à Miranda, Saragosse et Tortosa ---	687
83 Les étiages de l'Ebre : Probabilité d'occurrence des Q_m (10) et Q_m (20)-----	694
84. Etude fréquentielle des épisodes secs d'été : exemple de Saragosse -----	720
85. Etude fréquentielle des épisodes secs d'été à Reñosa, Saragosse, Tortosa, Lérida et Calamocha -----	721
86. Etude fréquentielle des épisodes secs d'hiver -----	725
87. Probabilité d'avoir 1,2,..., K épisodes secs de plus de θ jours à Saragosse -----	727
88 Durée, en jours, de l'épisode maximum de sécheresse de la période 1967 - 1972 -----	731
89 Carte de l'Etp estivale -----	737
90. Carte du bilan hydrique estival -----	738
91. Longueur de la période déficitaire -----	739

92. Années sèches et séries sèches dans le bassin de l'Ebre ----	758
93. Pluies cumulées et débits cumulés dans le bassin de l'Ebre en 1966 - 67 -----	770
94. Isanomaies de pluie en 1967 -----	772
95. Pluies cumulées et débits cumulés dans le bassin de l'Ebre en 1956 - 57 -----	787
96 Isanomaies de pluie : hiver 1957. -----	788

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Pages</u>
I. Hypsométrie du bassin de l'Ebre -----	19
a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude -----	
b) Surfaces et fréquences cumulées -----	
II. Hypsométrie des bassins versants : Secteur amont -----	29
a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude -----	
b) Surfaces et fréquences cumulées -----	
III. Hypsométrie des bassins versants : affluents pyrénéens ---	
a) Répartition des surfaces par tranches d'altitude -----	44
b) Surfaces et fréquences cumulées -----	45
IV. Hypsométrie des bassins versants de rive droite -----	118
V. Les pentes de l'Ebre moyen -----	169
VI. Les pentes de l'Ebre inférieur -----	176
VII. Répartition au cours de l'année, des régimes de circulation	191
VIII. Intensités pluviométriques en fonction des flux perturbés-	195
IX. L'apport pluvial sur les principaux bassins espagnols -----	202
X. Bilans pluviométriques sur le bassin de l'Ebre -----	216
XI. Irrégularité interannuelle des pluies dans le bassin de l'Ebre -----	291
XII. a, b, c, d : Les variations saisonnières de la pluie : moyennes, médianes et quintiles -----	249 à 252
XIII. Les extrêmes pluviométriques mensuels et annuels à dif- férentes stations du bassin de l'Ebre -----	253
XIV. Pluies maximales de 1, 2... 8 jours consécutifs -----	265
XV. Valeurs maximales absolues de précipitations pour diverses années de référence -----	266
XVI. Pluies maximales annuelles de 24 heures pour une période de retour de x années -----	276
XVII. Date des pluies maximales sur le bassin de l'Ebre -----	280

	<u>Pages</u>
XVIII. Pluies maximales de 24 heures : maxima journaliers moyens et absolus -----	283
XIX. Précipitations neigeuses et couverture de neige à quelques stations pyrénéennes -----	288
XX. Hauteur mensuelle des précipitations neigeuses à quelques stations pyrénéennes -----	291
XXI. Fiches thermiques :	
a) Région cantabrique (Reinosa) -----	310
b) Dépression Centrale (Agoncillo) -----	311
c) Dépression Centrale (Saragosse) -----	312
d) Pyrénées atlantiques (Canfranc) -----	313
e) Pyrénées centrales (Panticosa) -----	314
f) Pyrénées orientales (La Molina) -----	315
g) Région sous-pyrénéenne (Lérida) -----	316
h) Versant ibérique (Calamocha) -----	317
i) Versant méditerranéen (Tortosa) -----	318
XXII. Variations de l'humidité relative au long de la vallée de l'Ebre -----	
XXIII. Nebulosité et ensoleillement dans la vallée de l'Ebre --	322
XXIV. Bilan de l'écoulement des rivières pyrénéennes -----	389
XXV. Une année de forte hydraulité, une année de faible hy- draulité dans les Pyrénées -----	401
XXVI. Modules spécifiques des rivières pyrénéennes : tableau comparatif -----	392
XXVII. Bilan de l'écoulement des rivières de versant ibérique -	417
XXVIII. Principaux canaux en exploitation dans le bassin de l'Ebre -----	433
XXIX. Barrages en exploitation -----	449
XXX. Les modules de l'Ebre à différents niveaux de surface compa- rés à ceux de quelques affluents ibériques et de la Garonne	454
XXXI. Bilan de la consommation d'eau dans le bassin de l'Ebre --	461
XXXII. L'irrégularité interannuelle à différentes stations du cours de l'Ebre -----	463

XXXIII. Les variations du module de l'Ebre à Tortosa (période 1913-14 à 1971-72) -----	472
XXXIV. Débits caractéristiques à trois stations du cours de l'Ebre, comparés aux valeurs des pays méditerranéens -	487
XXXV. Bilans annuels de l'écoulement à diverses stations du cours de l'Ebre -----	496
XXXVI. Bilans annuels de l'écoulement pour quelques fleuves ibériques et pour la Garonne -----	497
XXXVII. Bilans mensuels d'écoulement pour l'ensemble du bassin	500
XXXVIII. Bilans d'écoulement annuels à Tortosa (1948-49 à 1971 - 72) -----	505
XXXIX. Bilans de l'écoulement pour une année humide et une année sèche -----	507
XL. Evaluation des crues en m3/s pour des périodes de retour T de 5, 10, 50, 100 et 1000 ans -----	529
XLI. La place des crues dans l'année hydrologique	
a) Sur les affluents de rive gauche -----	538
b) Sur les affluents de rive droite -----	539
c) Sur l'Ebre	
XLII. Caractéristiques de la crue maximale :	
a) A différentes stations du cours de l'Ebre -----	548
b) Sur les rivières cantabriques et pyrénéennes ----	551
c) Sur les affluents ibériques -----	552
XLIII. Origine des crues de l'Ebre inférieur -----	584
XLIV. Origine météorologique des crues dans le bassin de l'Ebre -----	586
XLV. Etiages absolus et débits caractéristiques de 355 jours pour l'Ebre et ses principaux affluents -----	685
XLVI. Débits minima bruts et spécifiques et % du module qu'ils représentent à trois stations du bassin de l'Ebre et trois stations du bassin de la Garonne ----	691
XLVII. L'étiage minimum de l'Ebre à trois niveaux de surface, comparé à celui de quelques fleuves ibériques et de la Garonne -----	692

XLVIII.	Nombre d'épisodes de débit de durée J jours, inférieurs à un seuil donné -----	695
XLIX	Différentes expressions des débits minima de l'Ebre à Tortosa -----	705
I	Place de l'étiage dans l'année hydrologique -----	706
LI.	Etiages de l'Ebre et de ses affluents de 1948 à 1973 -----	707
LIII	Pluies minimales pour diverses périodes -----	712 713
LIII.	Epoque des minima pluviométriques mensuels -----	715
LIV.	Durée de l'épisode sec d'été pour divers niveaux de probabilité -----	719
LV	Durée de l'épisode sec d'hiver pour divers niveaux de probabilité -----	723
LVI.	Probabilité d'avoir K épisodes secs de plus de 0 jours pendant les mois d'été -----	728
LVII.	L'évaporation physique mesurée à l'évaporomètre Piche -----	734
LVIII.	Pénuries récentes à Tortosa -----	761
LIX.	La pluviométrie dans le bassin de l'Ebre en 1966-67 -----	769
LX	Températures mensuelles au cours de l'été 1967 -----	771
IXI.	L'ensoleillement à Tortosa au cours de l'été 1957 --	773
LXII.	Pluviométrie comparée des années 1954-55 et 1957-58- -----	777
LXIII.	L'ensoleillement à trois stations de la vallée de l'Ebre au cours des étés 1955 et 1958 -----	777
LXIV	Caractères thermiques des étés 1955 et 1958 -----	781
LXV.	Nombre de jours de débit inférieur à un seuil donné au cours des étés 1955 et 1958 -----	783
LXVI.	La pluviométrie sur le bassin de l'Ebre en 1956-57 -	789

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Pages</u>
AVANT-PROPOS -----	
INTRODUCTION -----	3
- PREMIERE PARTIE -	
LES CONDITIONS DE L'ALIMENTATION ET DE L'ECOULEMENT FLUVIAL DANS LE BASSIN DE L'EBRE -----	
<u>CHAPITRE I</u> - LES CARACTERES GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN -----	9
- <u>SECTION I</u> - DONNEES MORPHOMETRIQUES GENERALES -----	10
A - SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN -----	10
B - CLIMAT, LIMITE OCE, LIMITES -----	11
1. Une géométrie triangulaire -----	11
2. L'irrégale répartition des sites de drainage -----	12
3. Les trois lignes de partage des eaux -----	14
C - REPARTITION DES ALTITUDES DANS LE BASSIN -----	20
- <u>SECTION II</u> - LES GRANDS ENSEMBLES MORPHOSTRUCTURAUX ET LEUR DRAINAGE -----	24
A - LE BASSIN SUPERIEUR -----	24
1. Le cadre morphostructural -----	24
2. La répartition des altitudes -----	30
3. Le ruissellement général -----	30
B - LE BASSIN MOYEN -----	33
1. Les Pyrénées : des altitudes élevées et des pen- tes accentuées -----	33
2. Le cadre morphostructural et ses conséquences sur l'hydrologie -----	34

	<u>Pages</u>
b) Les grands affluents pyrénéens et leur bassin --	49
2°/ Le Système Ibérique : un pays continental où pré- dominent les hautes surfaces -----	111
a) Les trois unités physiques -----	113
b) Le drainage des trois secteurs -----	123
3°/ La Dépression Centrale : une morphologie peu propre au ruissellement fluvial -----	132
C - LE VERSANT MEDITERRANEEN -----	141
 <u>CHAPITRE II - LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET LE FLEUVE -----</u>	 149
- <u>SECTION I - CARACTERES GENERAUX DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE-</u>	149
A - LA FORMATION DU RESEAU -----	149
1°/ La mise en place des systèmes de drainage sur les reliefs bordiers -----	150
2°/ La formation de l'Ebre -----	151
3°/ Les réajustements dans le réseau : tronçonnements et captures -----	152
B - L'ORGANISATION DU DRAINAGE : ECHELONNEMENTS ET CON- VERGENCES -----	154
1°/ Le réseau en échelle du bassin amont -----	155
2°/ Les grandes convergences de l'Ebre moyen -----	157
- <u>SECTION II - LE FLEUVE DANS SA VALLEE -----</u>	162
A - L'EBRE CANTABRIQUE -----	162
B - L'EBRE ARAGONAIS -----	162
C - L'EBRE CATALAN -----	173

	<u>Pages</u>
<u>CHAPITRE III - L'APPORT FLUVIAL</u> -----	180
INTRODUCTION : 1 / Des milieux climatiques variés -----	180
2 / L'équipement météorologique du bassin -----	181
3 / Intérêt des sources et choix des données --	182
4 / Conditions aérologiques et régimes dynamiques sur le N de l'Espagne -----	186
 - <u>SECTION I - L'APPORT FLUVIAL GLOBAL</u> -----	201
A - LES CONTRASTES SPATIAUX : L'EBRE HUMIDE, L'EBRE SECHE	202
1 / La venture humide de l'Ebre et ses trois châteaux d'eau -----	203
a les Pyrénées et les massifs basques -----	203
b, le secteur aragonais -----	209
Le NW du Système Ibérique -----	210
2 / La sécheresse méditerranéenne -----	211
3 / Bilans pluviométriques pour différents bassins ver- sants et l'ensemble du bassin de l'Ebre -----	215
B - LES CONTRASTES TEMPERELS -----	220
1 / L'irrégularité interannuelle -----	222
2 / La répartition des fréquences -----	223
a) Histogrammes des précipitations annuelles -----	223
b) Etude statistique des pluies annuelles à Reinos, a, Saragosse et Tortosa -----	227
3 / La marche annuelle des pluies -----	227
4 / Les variations annuelles de la pluviosité sur l'en- semble du bassin -----	230
 - <u>SECTION II - VARIATIONS SAISONNIERES ET REGIMES PLUVIOMETRI- QUES</u> -----	232

	<u>Pages</u>
A - LA VARIETE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES -----	233
1°/ Le régime vasco-cantabrique et l'influence de l'océan	233
2°/ Les régimes pyrénéens et le problème des transitions climatiques -----	236
3°/ Les tendances continentales de la Dépression Centrale	239
4°/ Les contrastes saisonniers du versant méditerranéen -	242
B - LE REGIME PLUVIOMETRIQUE MOYEN DU BASSIN -----	243
- <u>SECTION III</u> - MODALITES DES CHUTES DE PLUIE -----	248
A - LES INTENSITES JOURNALIERES -----	255
1°/ Distribution des valeurs des précipitations journalières -----	255
2°/ Décomposition du régime en apports d'intensité donnée	259
B - LES PLUIES MAXIMALES -----	264
1°/ Pluies record enregistrées dans le bassin de l'Ebre --	264
2°/ Fréquence des pluies maximales de 24 heures -----	273
3°/ Date des précipitations maximales -----	279
<u>CHAPITRE IV</u> - FACTEURS DE MODIFICATION DE L'APPORT PLUVIAL -----	284
- <u>SECTION I</u> - LA RETENTION NIVO-GLACIAIRE -----	284
A - LA NEIGE -----	284
1°/ Un rôle discret sur le versant ibérique -----	284
2°/ Un enneigement capricieux en milieu cantabrique et des incidences variables sur l'hydrologie -----	287
3°/ Le rôle fondamental des neiges pyrénéennes -----	290
B - LES GLACIERS : UNE INFLUENCE LIMITEE SUR LES MODALITES DE L'ECOULEMENT -----	295

	<u>Pages</u>
- <u>SECTION II</u> - LES TEMPERATURES -----	298
A - LA GEOGRAPHIE DES TEMPERATURES DANS LE BASSIN DE L'EBRE -----	298
B - LES DIFFERENTS REGIMES THERMIQUES ET LEUR INCIDENCE SUR L'ECOULEMENT -----	302
- <u>SECTION III</u> - L'HUMIDITE RELATIVE ET LA NEBULOSITE -----	319
A - L'HUMIDITE RELATIVE -----	319
B - LA NEBULOSITE -----	320
- <u>SECTION IV</u> - LE VENT : FACTEUR IMPORTANT DE LA SECHERESSE. ARAGONAISE -----	325
A - LE CIERZO -----	326
B - LE BOCHORNO -----	330
- <u>SECTION V</u> - LA COUVERTURE VEGETALE -----	330
A - LE MILIEU PYRENEEN ET SES NUANCES -----	332
1° / Les Pyrénées aragonaises -----	332
a) A la base : le climax du chêne vert -----	332
b) La transition : la chênaie de Quercus subpyrenaïca	333
c) L'étiage de moyenne montagne : chêne rouvre et hê- tre ou pin sylvestre -----	334
d) L'étiage subalpin -----	335
e) La prairie d'altitude -----	335
2° / Des Pyrénées occidentales à la Cordillère Cantabri- que : un milieu de moyenne montagne océanique -----	336
a) La hêtraie -----	336
b) La chênaie -----	337
3° / Le domaine de la montagne méditerranéenne -----	337
a) L'étagé subméditerranéen du Quercus pubescens ---	338

	<u>Pages</u>
b) L'étage montagnard à pin sylvestre -----	338
c) L'étage subalpin à Pinus Uncinata -----	338
d) L'étage alpin -----	339
 B - LE SYSTEME IBERIQUE : UN MILIEU DE MONTAGNE MEDITER- RANEO-CONTINENTALE -----	 340
C - LE DOMAINE MEDITERRANEEN PUR -----	341
D - LES MILIEUX DE LA DEPRESSION CENTRALE -----	343
1°/ Les bords de la cuvette -----	343
2°/ Les reliefs de la Dépression Centrale -----	344
3°/ Le centre de la cuvette -----	345
a) Le paysage des champs de céréales -----	346
b) Sur les sols squelettiques des pentes : le Rosma- rinetalia -----	 346
c) Les terrains gypseux et l'alliance du Gypsophilion	347
d) Sur les limons : des prairies de graminées steppi- ques -----	 347
e) Le "Sisallar" -----	348
f) Les steppes à graminées -----	348
g) La végétation des saladas -----	350
h) Les peuplements des bords des eaux -----	351
 - <u>SECTION VI</u> - LE BILAN HYDRIQUE DES SOLS -----	 354
A - BILAN ANNUEL, POUR L'ENSEMBLE DU BASSIN -----	354
1°/ Carte de l'évapotranspiration potentielle -----	354
2°/ Carte de l'évapotranspiration réelle -----	357
3°/ L'étendue des surfaces à bilan négatif -----	358
 B - BILANS HYDRIQUES SAISONNIERS DES SOLS DANS LES DIFFEREN- TES REGIONS CLIMATIQUES -----	 359
 <u>CONCLUSION</u> : LES DOMAINES CLIMATIQUES ET LEUR RÔLE DANS L'HYDRO- LOGIE DE L'EBRE -----	 366

	<u>Pages</u>
- <u>DEUXIEME PARTIE</u> -	
LE REGIME FLUVIAL -----	371
INTRODUCTION : L'EQUIPEMENT HYDROMETRIQUE DU BASSIN -----	372
<u>CHAPITRE I - LES COMPOSANTES DU REGIME : LE RUISSELLEMENT</u>	
AFFLUENT ET L'ACTION DES HOMMES -----	380
- <u>SECTION I</u> - L'ABONDANCE HIVERNALE CANTABRIQUE -----	380
- <u>SECTION II</u> - L'APPORT FONDAMENTAL DES PYRENEES ET LE ROLE DE LA NEIGE -----	386
A - L'ABONDANCE DES RIVIERES PYRENEENNES -----	387
1°/ Un bilan d'écoulement avantageux -----	387
2°/ Une abondance remarquable -----	390
3°/ Une irrégularité interannuelle modulée par la nivosité -----	401
4°/ La faiblesse de l'écoulement subpyrénéen -----	404
B - LES VARIATIONS SAISONNIERES : LE ROLE NUANCE DE LA NEIGE -----	404
1°/ Les rivières nivales des Pyrénées centrales et orientales -----	405
2°/ Les rivières pluviales et pluvio-nivales du se- teur occidental -----	411
- <u>SECTION III</u> - LA FAIBLESSE DE LA CONTRIBUTION IBERIQUE -	415
A - LES RIVIERES IBERIQUES DE L'OCA AU HUECHA -----	416
B - LA REGULIERE FAIBLESSE DU JALON -----	419
C - LA TORRENTIALITE DU GUADALOPE-----	427

	<u>Pages</u>
- <u>SECTION IV</u> - L'ACTION DES HOMMES : REGULARISATION ET POMPAGES -----	428
A - LES BESOINS DE L'IRRIGATION ET LE DEVELOPPEMENT DES CANAUx -----	429
1° / Le développement du réseau et son influence sur les modules du fleuve -----	429
2° / L'inégale densité du réseau de canaux. Ses consé- quences sur les modalités régionales de l'écoule- ment -----	432
3° / L'irrigation : une activité saisonnière qui tend à accentuer l'irrégularité des rivières -----	441
B - LES BARRAGES -----	442
1° / Les barrages hydroélectriques -----	443
2° / Les barrages de régularisation estivaie -----	444
3° / Les barrages à double destination : agricole et énergétique -----	444
- <u>CHAPITRE II</u> - LE REGIME DE L'EBRE -----	451
- <u>SECTION I</u> - L'ABONDANCE -----	451
A - L'ABONDANCE MOYENNE : SON EVOLUTION D'AMONT EN AVAL-	451
1° / L'augmentation progressive des modules bruts ----	451
2° / Les variations des modules spécifiques -----	456
B - ABONDANCE REELLE, ABONDANCE NATURELLE -----	458
C - LES FLUCTUATIONS DU MODULE -----	462
1° / La méthode d'approche du problème -----	462
2° / Fréquences de débit et irrégularité des modules --	462
3° / Périodes humides, périodes sèches -----	470
4° / La recherche d'une tendance -----	475

Pages

- <u>SECTION II</u> - LES RYTHMES ANNUELS DE L'ECOULEMENT -----	476
A - L'EBRE CANTABRIQUE -----	476
1° / La courbe des débits classés et ses enseignements --	476
2° / Un régime pluvial océanique -----	478
3° / Les variations du régime saisonnier -----	479
4° / Les modifications apportées par la retenue de Reinos	480
B - L'EBRE ARAGONAIS -----	481
1° / La courbe des débits classés -----	481
2° / Le régime de l'Ebre aragonais -----	483
3° / Les variations du cycle saisonnier -----	484
4° / L'action humaine -----	485
C - L'EBRE INFERIEUR -----	486
1° / La courbe des débits classés -----	488
2° / Un régime complexe compensé -----	488
3° / Une pondération peu méditerranéenne -----	490
4° / L'évolution du régime -----	492
- <u>CHAPITRE III</u> - BILANS D'ECOULEMENT -----	495
- <u>SECTION I</u> - BILANS ANNUELS GLOBAUX -----	495
A - LA SITUATION ACTUELLE -----	495
B - BILAN DE L'ECOULEMENT NATUREL -----	498
- <u>SECTION II</u> - BILANS MENSUELS -----	499
- <u>SECTION III</u> - BILANS ANNUELS PARTICULIERS -----	501
A - BILANS ANNUELS D'ECOULEMENT A TORTOSA DE 1951-52 A 1969-70 -----	501
B - BILANS POUR UNE ANNEE HUMIDE : 1959 - 60 -----	504
C - BILANS POUR DEUX ANNEES DEFICITAIRES : 1954-55 ET 1956-57 -----	505
<u>CONCLUSION</u> -----	508

- TROISIEME PARTIE -

LES CRUES -----	511
INTRODUCTION : 1°/ Le danger de crue dans le bassin de l'Ebre -	512
2°/ Les grandes crues dont on a gardé le souve- nir -----	513
- <u>CHAPITRE I</u> - CARACTERISTIQUES NUMERIQUES DES CRUES -----	521
- <u>SECTION I</u> - LA FREQUENCE DES CRUES -----	521
A - LA FREQUENCE VARIABLE DES CRUES PYRENEENNES -----	521
B - LA RARETE DES CRUES IBERIQUES -----	522
C - LA SENSIBILITE DE L'EBRE MOYEN AU PHENOMENE DE CRUE- -----	523
- <u>SECTION II</u> - ETUDE STATISTIQUE DE LA CRUE MAXIMALE ANNUEL- LE -----	525
- <u>SECTION III</u> - LA CRUE DANS L'ANNEE HYDROLOGIQUE -----	533
A - UN VASTE DOMAINE A CRUES D'HIVER : LE BASSIN SUPER RIEUR -----	533
B - LES CRUES DE PRINTEMPS DE LA MONTAGNE PYRENEENNE ---	535
C - VARIETE DES DATES DE CRUE D'UN BOUT A L'AUTRE DU SYSTEME IBERIQUE -----	535
D - EPOQUE DES CRUES SUR L'EBRE INFERIEUR -----	537
- <u>SECTION IV</u> - LA PUISSANCE DES CRUES -----	540
A - LES HAUTEURS D'EAU -----	542
B - LES DEBITS MAXIMAUX OBERVES -----	545
1°/ Relative modicité des crues de l'Ebre -----	545
2°/ La modération des rivières cantabriques -----	550
3°/ La torrentialité pyrénéenne : ses nuances d'Ouest en Est -----	550
4°/ L'inertie des rivières ibériques -----	558
5°/ La sensibilité des torrents méditerranéens -----	560

	<u>Pages</u>
- <u>CHAPITRE II</u> - LE MECANISME DES CRUES -----	561
- <u>SECTION I</u> - VITESSES DE TRANSLATION DES FLOTS DE CRUE -	561
- <u>SECTION II</u> - EVOLUTION DES CRUES : TEMPS DE MONTEE - DU- REE - TYPES D'HYDROGRAMMES -----	564
A - SUR LES GRANDS AFFLUENTS -----	564
B - EVOLUTION DES CRUES EN DIFFERENTS POINTS LE L'EBRE	571
- <u>SECTION III</u> - EVOLUTION DES CRUES D'AMONT EN AVAL -----	576
A - LES CRUES QUI GROSSISSENT VERS L'AVAL -----	577
B - LES CRUES ETALES D'AMONT EN AVAL -----	579
C - LES CRUES QUI S'APLATISSENT VERS L'AVAL -----	581
- <u>CHAPITRE III</u> - LA GENESE DES CRUES -----	583
<u>INTRODUCTION</u> : CLASSIFICATION GENETIQUE DES CRUES -----	583
- <u>SECTION I</u> - LES CRUES CANTABRIQUES -----	587
A - LA CRUE DU 10 AU 22 DECEMBRE 1962 -----	587
B - CARACTERES COMMUNS AUX CRUES CANTABRIQUES -----	591
1° / Extension -----	591
2 / Conditions météorologiques -----	592
3° / Caractères hydrologiques -----	594
- <u>SECTION II</u> - LES CRUES PYRENEENNES -----	595
A - LES CRUES PYRENEO-CANTABRIQUES -----	596
1° / La crue de février 1952 -----	596
2° / La crue de décembre 1960 - janvier 1961 -----	600
3° / Caractères communs aux crues pyrénéo-cantabriques	604
B - LES CRUES PYRENEENNES DE VERSANT MEDITERRANEEN ----	607

	<u>Pages</u>
1°/ La crue du 6-8 juin 1960 -----	607
2°/ Les crues d'octobre 1960 -----	611
3°/ La crue de juin 1953 sur le Sàgre supérieur -----	615
4°/ Caractères communs aux crues est-pyrénéennes ----	618
 - <u>SECTION III</u> - LES CRUES DE VERSANT IBERIQUE -----	 624
A - QUELQUES EXEMPLES DE CRUES DE VERSANT IBERIQUE -----	624
1°/ Crue du 14 - 15 octobre 1957 -----	614
2°/ Crue du 15 - 17 mai 1954 -----	627
3°/ Crue du 3 juin 1954 -----	628
B - CARACTERES GENERAUX DES CRUES IBERIQUES -----	631
1°/ Conditions météorologiques -----	631
2°/ Caractères hydrologiques -----	633
 - <u>SECTION IV</u> - CRUES GENERALISEES ET CRUES COMPLEXES -----	 635
A - LES CRUES GENERALISEES : LES EVENEMENTS DE MAI 1956, NOVEMBRE 1966 ET JANVIER 1960 -----	 635
B - LES CRUES COMPLEXES : LES CRUES DE NOVEMBRE 1961 ET DECEMBRE 1959 -----	 645
C - CARACTERES GENERAUX DE CES CRUES -----	651
1°/ Conditions météorologiques -----	651
2°/ Caractères hydrologiques -----	652
 <u>CONCLUSION</u> -----	 654

Pages

- QUATRIEME PARTIE -

SECHERESSES ET ETIAGES -----	658
INTRODUCTION : SECHERESSES ET ETIAGES, ORIGINALITE HYDROCLIMATI- TIQUE DU BASSIN DE L'EBRE -----	659
<u>CHAPITRE</u> - LA GRAVITE DES ETIAGES -----	660
- <u>SECTION I</u> - LES ETIAGES SUR L'ENSEMBLE DU RESEAU AFFLUENT	662
A - LA PROFONDEUR DE L'ETIAGE MINIMUM -----	662
B - DATE DES ETIAGES -----	675
1°/ Le domaine des étiages d'hiver -----	676
2°/ Le domaine des étiages d'automne -----	678
3°/ Les pénuries estivales de la Dépression Centrale	680
C - LES TYPES D'ETIAGES -----	681
1°/ Les étiages d'hiver des rivières nivales, abondants et réguliers -----	681
2°/ Les étiages surabondants des rivières karstiques	682
3°/ Les étiages misérables des torrents méditerranéens -----	683
4°/ Les étiages techniques -----	683
- <u>SECTION II</u> - LES ETIAGES DE L'EBRE -----	686
A - VALEUR ET DATE DES MINIMA ANNUELS -----	686
B - FREQUENCE ET DUREE DES EPISODES DE BASSES EAUX A SARAGOSSE ET TORTOSA -----	693
1°/ Etude de fréquence des débits minima moyens de 10 jours et 20 jours consécutifs -----	693
2°/ Fréquence et durée des épisodes de basses eaux de différentes valeurs -----	696

	<u>Pages</u>
<i>C - LES TYPES D'ETIAGES SUR L'EBRE MOYEN ET INFERIEUR-</i>	698
1°/ Les étiages peu marqués des années à forte hydraulité -----	699
2°/ Les étiages profonds et durables -----	701
3°/ Les étiages profonds et courts -----	702
4°/ Les étiages peu creusés mais durables -----	703
5°/ Les étiages d'hiver -----	704
 <u>CHAPITRE II - CAUSES DES ETIAGES</u> -----	 708
 <u>SECTION I - LA FAIBLESSE DE L'APPORT PLUVIAL</u> -----	 710
<i>A - LA FAIBLESSE DES PLUIES</i> -----	710
<i>B - SECHERESSES D'ETE, SECHERESSES D'HIVER : LES NUANCES REGIONALES</i> -----	714
1°/ Date des minima pluviométriques mensuels -----	714
2°/ Date des pluies minimales pour des périodes de 2 à 6 mois -----	716
 <u>- SECTION II - FREQUENCE ET DUREE DES EPISODES SECS</u> -----	 718
<i>A - RECHERCHE DE LA PROBABILITE DE DUREE DES EPISODES SECS</i> -----	719
1°/ Etude des épisodes secs d'été -----	719
2°/ Durée des épisodes secs d'hiver -----	723
<i>B - RECHERCHE DE LA PROBABILITE D'AVOIR K EPISODES SECS DE PLUS DE θ JOURS PENDANT LES MOIS DE JUILLET - AOUT - SEPTEMBRE</i> -----	724
<i>C - RECORDS DE DUREE DES EPISODES SECS</i> -----	726
1°/ Carte de l'épisode sec le plus long (période 1967-1972) -----	728
2°/ Records de durée de périodes sans précipitations : (période 1949 - 1971) -----	730

	<u>Pages</u>
- <u>SECTION III</u> - LA PUISSANCE DE L'EVAPOTRANSPIRATION -----	733
A - L'EVAPORATION PICHE -----	733
B - L'IMPORTANCE DU DEFICIT HYDRIQUE -----	736
1°/ L'évapotranspiration estivale -----	736
2°/ Le déficit estival -----	740
- <u>SECTION IV</u> - CAUSES TECHNIQUES DES ETIAGES : LES IRRIGATIONS	740
A - LA CAPACITE DE PRELEVEMENT DES CANAUX D'IRRIGATION ---	741
B - BILANS IRRIGATIONS - RESERVES AU COURS DE L'ETE 1969-	742
<u>CHAPITRE III</u> - SECHERESSES ANCIENNES ET RECENTES DANS LE BAS-	
SIN DE L'EBRE -----	746
- <u>SECTION I</u> - LES SECHERESSES DANS LE PASSE -----	746
A - LES SECHERESSES DANS L'ANTIQUITE ET LE MOYEN-AGE ---	747
B - LES SECHERESSES QUI AFFECTERENT LE NORD DE L'ESPAGNE DURANT LES TEMPS MODERNES -----	752
- <u>SECTION II</u> - QUELQUES EXEMPLES RECENTS DE SECHERESSES -----	757
A - ANNEES SECHES ET SERIES SECHES DEPUIS 1911 -----	757
1°/ Concentration inégale de la sécheresse dans les di- vers secteurs du bassin -----	757
2°/ Extension des grandes sécheresses hors du bassin de l'Ebre -----	762
3°/ Concordances et discordances des épisodes de sèche- resse : leur influence sur les modules et les étia- ges -----	763
B - LA SECHERESSE DE L'ETE 1967 -----	767
1°/ Les caractères climatiques de l'été 1967 -----	768
2°/ Les caractères hydrologiques -----	771

	<u>Pages</u>
C - DEUX EXEMPLES D'ETIAGES PROFONDS ET DURABLES -----	776
D - SECHERESSE ET ETIAGES DE L'HIVER 1956 - 57 -----	786
1 ^c / Les caractères climatiques de l'hiver 1956 - 57 -----	786
2 ^c / Les caractères hydrologiques -----	791
<u>CONCLUSION</u> -----	793
- <u>CONCLUSION GENERALE</u> -----	796
BIBLIOGRAPHIE -----	I
LISTE DES FIGURES -----	XXXIV
LISTE DES TABLEUX -----	XXXIX
TABLE DES MATIERES -----	XI lll

A N N E X E S

- ANNEXE I -

QUANTITES D'EAU TOMBÉES SUR LE BASSIN DE L'EBRE EN LITRES/M2.

Années	U	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1948	74,9	29,5	23,1	47	58,4	19,3	29,2	31,5	30,9	25,1	13,6	37,7	420
1949	17,4	7,1	48,2	25,4	69,6	45,9	39,4	45,2	105,2	24,7	50,2	45,0	521
1950	21,9	37,4	35,4	37,0	85,4	29,6	16	40,2	18,7	32,7	30,6	99,2	484
1951	63,7	49,7	57,9	64,6	97,6	67,5	28,1	50,3	76,5	66,5	49,9	49,4	722
1952	45,3	24,5	56,2	69,3	60,3	40,9	85,2	46,5	23	55,9	50,7	51,3	609
1953	24,6	38,2	13,2	51,3	15,1	131,7	15,1	24,4	54,6	94,6	10,2	78,4	551
1954	41,3	45,1	73,5	40,6	87	66,5	23,8	15	33,9	14	44	35	519
1955	83,5	63,2	23,6	18	34,8	83,9	59,3	56,3	39,4	59,8	35,6	83,5	64
1956	60,8	37,9	90,5	68,9	101,9	38,4	13,5	57,8	75,6	27,9	51,1	13,3	639
1957	18,1	36,3	24	64,6	96,2	129,5	12	38,1	32,1	62,3	31,5	31,2	576-
1958	66,3	22,2	67,2	33,4	44,2	58,8	40	42,2	52,9	34,7	47,2	130,1	639
1959	21,4	43,7	104,2	51,2	86	58,4	46,7	45,6	151	105	83,4	95,4	892
1960	65,9	62,5	87,5	10,1	63,9	65,5	57,8	28,2	71,5	181	49,9	111	855
1961	53,6	10,9	16,6	60,5	74,4	38,8	27,2	36,2	87,6	67	143,5	34,4	647
1962	66,1	65,2	61,2	62,3	51,6	42,3	13,6	15,9	63,9	77	69	56,4	650
1963	66	54,3	46,2	65,8	25,6	74,1	42,1	64,1	87,1	21,8	85	55,9	688
1964	8,8	83,5	55,3	54,9	44,2	60,3	31,5	21,2	51,8	43,7	43,9	72,5	571
1965	45,9	36,9	61	29,9	30,4	28,3	23,2	30,4	88,1	120,7	85,8	66	646
1966	59,7	75,5	15,9	76,1	60,6	58,8	28,1	25,1	283	109	100	20,5	652
1967	30,1	33,5	34,3	48,9	38,5	19,6	19,4	27	24,6	53,6	183	39,4	547
1968	19,7	50,5	58,9	56	72,6	45,1	18,4	62,9	23,3	9	90,2	62,7	569
1969	43,1	50,1	99,4	139,4	65,5	58,3	31,7	20,3	90,6	64,9	41,3	64,4	769

LES MODULES DE L'EBRE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS DEPUIS 1914

Années hydrologiques	Miranda	E B R E Saragosse	Tortosa	ARAGON Caparoso	GALLEGO Ardisa	CINCA Fraga	SEGRE Seros	JALON Huermeda	GUADALUPE Al. aniz
1913 - 14	89	85	651	75	48	-	-	15,6	3,6
1914 - 15	108	307	992	233	62	-	-	23,2	10,7
1915 - 16	103	234	881	136	48	-	-	23,9	7,6
1916 - 17	90	211	787	109	53	-	-	27,9	5,3
1917 - 18	81	148	461	48	2	-	-	21,3	8,2
1918 - 19	120	286	802	137	49	94	-	29,6	7,1
1919 - 20	85	175	654	103	41	109	-	39,7	17,3
1920 - 21	51	132	560	77	26	83	-	37,7	27,7
1921 - 22	92	161	543	76	37	81	-	21,1	7,9
1922 - 23	67	142	467	53	41	-	-	19,5	4,5
1923 - 24	104	171	509	78	38	-	-	23,7	-
1924 - 25	116	121	390	52	32	-	-	18,0	2,1
1925 - 26	111	153	545	66	53	85	-	23,6	3,8
1926 - 27	149	170	618	71	57	98	-	25,6	-
1927 - 28	109	-	665	-	52	88	-	29,5	-
1928 - 29	45	-	346	-	20	-	-	-	-
1929 - 30	-	-	701	-	44	96	-	-	-
1930 - 31	-	430	611	-	35	57	-	-	4,1
1931 - 32	-	246	448	-	33	99	-	-	-
1932 - 33	-	264	455	-	28	65	-	-	-
1933 - 34	76	318	441	-	29	61	-	-	-
1934 - 35	55	287	479	-	-	72	-	-	-
1935 - 36	103	480	-	-	67	-	-	22,3	-
1936 - 37	50	240	-	-	35	-	-	-	-
1937 - 38	124	304	-	-	-	-	-	-	-
1938 - 39	-	368	-	-	-	-	-	9,0	-
1939 - 40	-	262	-	-	43	-	-	-	-
1940 - 41	-	401	-	-	50	-	-	-	-
1941 - 42	-	-	-	-	26	-	-	-	-
1942 - 43	26	-	-	-	-	-	-	7,5	-
1943 - 44	39	121	-	-	-	-	-	8,1	-

LES MODULES DE L'EBRE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS DEPUIS 1914 (suite).

Années hydrologiques	Miranda	E B R E Sagosses	Tortosa	ARAGON Caparruso	GALLEGO Ardisa	CINCA Fraga	SEGRE Seros	JALON Huermeda	GUADALOPE Alcaniz
1944 - 45	-	197	-	62		-	-	5,7	5,3
1945 - 46	31	171	-	44	28	-	-	11,8	-
1946 - 47	38	218	-	68	29	-	-	12,0	-
1947 - 48	34	167	-	32	19	-	91	9,0	-
1948 - 49	17	73	-	9	9	15	25	5,3	-
1949 - 50	30	188	-	48	22	36	50	3,2	-
1950 - 51	55	303	-	93	33	92	99	9,5	-
1951 - 52	58	239	490	61	20	85	124	10,7	5,6
1952 - 53	59	222	391	67	16	42	87	7,2	2,6
1953 - 54	44	310	507	59	16	61	112	7,9	6,8
1954 - 55	78	141	283	47	19	53	77	7,6	4,7
1955 - 56	34	248	501	73	29	99	97	13,4	6,1
1956 - 57	53	141	262	41	12	57	67	7,2	1,6
1957 - 58	41	181	287	57	15	36	45	5,9	10,5
1958 - 59	54	186	452	50	25	86	95	11,1	2,4
1959 - 60	47	434	913	101	59	134	173	18,5	9,4
1960 - 61	99	387	715	96	46	90	130	18,2	3,3
1961 - 62	61	430	695	79	40	119	128	18,6	2,4
1962 - 63	80	269	567	72	27	102	-	14,4	6,7
1963 - 64	59	200	466	59	29	126	-	14,3	3,8
1964 - 65	44	225	316	64	20	65	-	9,6	5,5
1965 - 66	58	336	554	112	34	141	-	15,5	7,5
1966 - 67	67	258	435	89	34	90	94	9,9	7,4
1967 - 68	69	308	500	84	28	90	107	9,4	7,4
1968 - 69	32	256	549	106	45	150	128	15,3	7,4
1969 - 70	66	257	388	88			92	15,9	
1970 - 71		222	392						

LE REGIME DES RIVIERES CANTABRIQUES

Rivières	Stations	S (km ²)	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m ³ /s	$\bar{q}$ l/s/km ²
NELA	Trespaderne	1096	5,2 0,38	19,3 1,45	34,8 2,50	28,2 2,09	14,2 1,05	21,0 1,55	29,2 2,16	12,6 0,93	1,2 0,83	2,6 0,19	2,3 0,16	6,4 0,47	5	13,5	12,3
ZADORRA	Arce	1349	8,2 0,39	20,8 1,00	36,4 1,70	42,7 2,05	44,1 2,12	32,6 1,56	22,8 1,09	18,9 0,90	12,2 0,58	4,5 0,21	2,6 0,12	3,1 0,14	17	20,8	11
EGA	Maranon	87	0,59 0,59	0,84 0,84	1,46 1,47	1,53 1,54	1,72 1,73	1,40 1,41	1,20 1,21	0,99 1,00	0,82 0,82	0,6 0,61	0,43 0,43	0,33 0,33	5	0,99	11
UREDERRA	Eraul	309	4,3 0,60	8,8 1,23	13,5 1,89	11,8 1,65	12,3 1,72	12,5 1,74	8,0 1,1	6,1 0,84	3,5 0,49	2,3 0,32	1,5 0,20	1,5 0,20	9	7,17	23
EGA	Andosilla	1445	7,1 0,45	15,5 0,99	23,5 1,51	26,6 1,70	32,9 2,10	31,4 2,01	25,7 1,64	15,7 1,00	13,0 0,83	5,3 0,44	3,8 0,24	4,5 0,28	9	16,9	11

 $\bar{Q}$: Débits moyens mensuels (m³/s)

c : Coefficients de débit.

C : Coefficient de variation saisonnière : max-mensuel/min-mensuel.

 $\bar{Q}$: Module brut (m³/s) $\bar{q}$: Module spécifique (l/s/km²).

Périodes de référence : Nela : 1963-64 à 1968-69 (6 ans)

Zadorra : 1933-34 à 1968-69 (35 ans)

Ega : 1947-48 à 1968-69 (22 ans)

Urrederra : 1931-32 à 1968-69 (29 ans)

Ega : 1913-14 à 1968-69 (40 ans)

1°/ Le réseau de l'Aragon :

Rivières	Stations	S (km2)	Altitude (m)	c	O	N	D	J	F	M
ARAGON S.	Javierre gay.	348	630 (2268)	Q c	12,7 0,90	15,2 1,06	13,4 0,95	14,6 <u>1,03</u>	13,8 0,97	21,8 1,54
VERAL	Zuriza	47	1187 (2366)	Q c	1,4 0,74	2,24 1,14	2,33 1,19	2,10 <u>1,07</u>	1,68 0,86	2,91 1,49
BELAGOA	Isaba	86	783 (2100)	Q c	1,7 0,63	3,4 1,23	3,7 <u>1,36</u>	3,5 1,29	3,6 1,30	4,8 1,76
SALAZAR	Azpuz	396	547 (1656)	Q c	3,27 0,39	9,04 1,09	13,9 1,68	14,6 1,75	15,3 1,85	6, <u>1,94</u>
IRATI	Arive	236	700 (2021)	Q c	6,0 0,54	12,3 1,10	18,4 <u>1,65</u>	17,6 1,58	18,7 <u>1,68</u>	16,6 1,49
IRATI	Liedena	1546	421 (2021)	Q c	19,7 0,5	44,4 1,14	65,5 <u>1,68</u>	68,2 1,75	72,3 <u>1,85</u>	68,5 1,75
ARAQUIL	Asiain	782	386 (1494)	Q c	16,8 0,66	35,9 1,43	45,0 <u>1,79</u>	44,8 <u>1,79</u>	40,8 1,62	56,8 1,46
SALADO	Eztenoz	28	480 (1009)	Q c	0,09 0,34	0,29 1,14	0,59 <u>2,26</u>	0,47 1,80	0,48 1,80	0,43 1,65
ARGA	Eugui	69	583 (1459)	Q c	0,9 0,23	4,3 1,10	6,5 1,66	8,0 <u>2,00</u>	4,9 1,25	5,1 <u>1,30</u>
<u>ARGA</u>	<u>Peralta</u>	2759	485 (1494)	Q c	32,4 0,58	74,8 1,34	89,9 1,61	97,5 <u>1,75</u>	97,7 <u>1,75</u>	91 1,65
ARAGON	Jaca	238	793 (2886)	Q c	5,4 0,66	7,2 <u>0,87</u>	5,8 0,70	6,3 0,76	7,1 0,87	10,1 1,23
ARAGON	Yesa	2191	423 (2886)	Q c	21,0 0,53	35,9 0,91	44,5 1,12	44,3 1,12	49,2 1,25	64,7 <u>1,64</u>
ARAGON(1)	Caparro so	5469	300 (2886)	Q c	43,3 0,53	84,4 1,03	96,4 1,18	103,7 1,27	125,3 1,53	143,3 <u>1,75</u>
<u>ARAGON(2)</u>	<u>Caparro so</u>	5469	300 (2886)	Q c	48,5 0,54	108,9 1,22	153,0 <u>1,72</u>	145,8 1,64	130,7 1,47	138,5 <u>1,56</u>

(1) Période 1912-13 à 1957-58, antérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

(2) Période 1957-58 à 1969-70, postérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

1°/ Le réseau de l'Aragon :

Rivieres	Stations	A	M	J	J	A	S	C	Q m3/s	q l/s/km2	Durée d'observa- tion
ARAGON S.	Javierre gay	21,6 1,53	22,6 1,60	17,6 1,24	6,50 0,46	4,20 0,29	4,90 0,34	5,3	19,9	38,2	17
VERAL	Zuriza	2,84 1,45	3,04 1,55	2,50 1,27	1,1 0,54	0,50 0,25	0,71 0,36	6	2	43,0	21
BELAGOA	Isaba	4,0 1,47	3,4 1,23	2,4 0,88	0,8 0,30	0,5 0,18	0,9 0,31	9,3	2,6	30,7	32
SALAZAR	Azpuz	10,8 1,30	7,5 0,90	4,4 0,54	1,2 0,15	0,8 0,10	1,1 0,43	19	8,9	22,4	33
IRATI	Arive	5,2 1,36	10,8 0,97	7,6 0,68	3,2 0,28	3,6 0,32	3,4 0,30	5,9	11,3	47,8	33
IRATI	Liedena	52,7 1,35	33,7 0,86	22,3 0,57	9,4 0,24	7,5 0,18	7,8 0,20	10	38,4	24,8	46
ARAQUII	Aslain	21,9 0,87	21,9 0,87	11,9 0,47	5,0 0,20	3,3 0,13	5,6 0,22	14	27,1	34,6	30
SALADO	Eztentz	0,22 0,84	0,18 0,69	0,13 0,50	0,07 0,27	0,06 0,23	0,06 0,23	9,8	0,24	8,5	18
ARGA	Eugui	5,3 1,35	4,8 1,25	2,2 0,56	0,9 0,23	0,8 0,29	2,2 0,56	10	3,9	56,2	5
ARGA	Peralta	76,3 1,38	52,2 0,93	26,0 0,45	13,1 0,23	8,2 0,15	12,2 0,22	12	56,3	20,4	43
ARAGON	Jaca	12,9 1,57	18 2,20	14,3 1,74	5,3 0,63	2,3 0,28	3,6 0,44	7,8	8,4	35,3	32
ARAGON	Yesa	58,7 1,49	59,1 1,50	48,0 1,22	20,4 0,51	13,7 0,34	8,7 0,24	7,4	39,0	17,8	48
ARAGON (1)	Caparro- so	126,2 1,54	116,7 1,43	63,9 0,78	30,4 0,37	18,6 0,23	27,6 0,34	7,7	81,5	14,9	29
ARAGON (2)	Caparro- so	114,4 1,28	70,0 0,79	45,8 0,51	29,4 0,33	31,2 0,35	50,3 0,56	5,2	88,8	16,2	13

(1) Période 1912-13 à 1957-58, antérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

(2) Période 1957-58 à 1969-70, postérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

1°/ Le réseau de l'Aragon :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2	Durée d'observa- tion
ARAGON S.	Javierre gay	21,6 1,53	22,6 1,60	17,6 1,24	6,50 0,46	4,20 0,29	4,90 0,34	5,3	19,9	38,2	17
VERAL	Zuriza	2,84 1,45	3,04 1,55	2,50 1,27	1,1 0,54	0,50 0,25	0,71 0,36	6	2	43,0	21
BELAGOA	Isaba	4,0 1,47	3,4 1,23	2,4 0,88	0,8 0,30	0,5 0,18	0,9 0,31	9,3	2,6	30,7	32
SALAZAR	Azpuz	10,8 1,30	7,5 0,90	4,4 0,54	1,2 0,15	0,8 0,10	1,1 0,43	19	8,9	22,4	33
IRATI	Arive	15,2 1,36	10,8 0,97	7,6 0,68	3,2 0,28	3,6 0,32	3,4 0,30	5,9	11,3	47,8	33
IRATI	Liedena	52,7 1,35	33,7 0,86	22,3 0,57	9,4 0,24	7,3 0,18	7,8 0,20	10	38,4	24,8	40
ARAQUIL	Asiain	21,9 0,87	21,9 0,87	11,9 0,47	5,0 0,20	3,3 0,13	5,6 0,22	14	27,1	34,6	30
SALADO	Eztencz	0,22 0,84	0,18 0,69	0,13 0,50	0,07 0,27	0,06 0,23	0,06 0,23	9,8	0,24	8,5	18
ARGA	Eugui	5,3 1,35	4,8 1,25	2,2 0,56	0,9 0,23	0,8 0,29	2,2 0,56	10	3,9	56,2	5
ARGA	Peralta	76,3 1,38	52,2 0,93	26,0 0,45	13,1 0,23	8,2 0,15	12,2 0,22	12	56,3	20,4	43
ARAGON	Jaca	12,9 1,57	18 2,20	14,3 1,74	5,3 0,63	2,3 0,28	3,6 0,44	7,8	8,4	35,3	32
ARAGON	Yesa	58,7 1,49	59,1 1,50	48,0 1,22	20,4 0,51	13,7 0,34	8,7 0,24	7,4	39,0	17,8	48
ARAGON (1)	Caparro- so	126,2 1,54	116,7 1,43	63,9 0,78	30,4 0,37	18,6 0,23	27,6 0,34	7,7	81,5	14,9	29
ARAGON (2)	Caparro- so	114,4 1,28	70,0 0,79	45,8 0,51	29,4 0,33	31,2 0,35	50,3 0,56	5,2	88,8	16,2	13

(1) Période 1912-13 à 1957-58, antérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

(2) Période 1957-58 à 1969-70, postérieure à la mise en service du barrage de Yesa.

- ANNEXE V - 6

LE REGIME DES RIVIERES PYRENEENNES (suite)

2/ Réseau du Gallego :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2	Durée d'observation
CAIDARES	Panticosa	1,47 0,66	3,43 1,53	4,66 2,09	3,56 1,59	3,46 1,55	2,22 0,99	5,2	2,23	67	1
GALLEGO	Anzanigo	35,1 1,46	39,3 1,64	41,4 1,73	17,1 0,71	9,1 0,38	12,1 0,50	4,5	27	9,4	19
GALLEGO	Ardisa	44,0 1,28	41,0	41,2	22,7	14,5	34,3	3,4	34,2	17	51

3/ Réseau du Cinca :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2	Durée d'observation
CINQUETA	Molino Gistain	4,8 1,09	9,7 2,20	10,5 2,38	6,0 1,36	2,9 0,65	2,6 0,59	8,07	4,4	44,2	4
ARA	Torla	13,3 1,40	21,8 2,29	21,2 2,24	13,5 1,42	6,00 0,63	7,0 0,73	8,7	9,5	3,0	9
ARA	Boltaña	28,2 1,50	30,8 1,64	35,1 1,87	11,0 0,58	7,1 0,38	10,9 0,58	4,9	19,9	31,8	24
ESERA	Villanova	11,3 0,94	22,4 1,86	28,4 2,36	19,8 1,65	10,6 0,88	9,6 0,80	5,9	11,9	36,9	53
ESERA	Graus	22,5 1,18	32,8 1,72	41,0 2,15	22,4 1,17	15,3 0,80	12,8 0,67	4,6	21,5	24,1	24
CINCA	La Fortuna da	20,1 0,97	37,6 1,82	36,2 1,75	24,4 1,17	14,0 0,67	10,3 0,5	3,9	20,6	48,6	4
CINCA	Ainsa	34,7 1,04	41,0 1,20	53,9 1,62	20,8 0,60	20,3 0,61	17,4 0,52	3,09	33,2	0,0	4
CINCA	El Grado	60,6 1,20	82,7 1,64	83,6 1,66	41,0 0,81	32,6 0,64	38,3 0,76	2,5	51,5	13,1	36
CINCA	Fraga	89,7 1,16	118,9 1,54	129,1 1,67	56,2 0,76	30,7 0,40	47,5 0,61	12,2	92,9	9,7	35

- ANNEXE V -

LE REGIME DES RIVIERES PYRENEENNES (suite)

2/ Réseau du Gallego :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2	Durée d'obser- vation
CAIDARES	Panticosa	1,47 0,66	3,43 1,53	4,66 2,09	3,56 1,59	3,46 1,55	2,22 0,99	5,2	2,23	67	1
GALLEGO	Anzanigo	35,1 1,46	39,3 1,64	41,4 1,73	17,1 0,71	9,1 0,38	12,1 0,50	4,5	27	9,4	19
GALLEGO	Ardisa	44,0 1,28	47,0	41,2	22,7	14,5	34,3	3,4	34,3	11	51

3/ Réseau du Cinca :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2	Durée d'obser- vation
CINQUETA	Molino Gistain	4,8 1,09	9,7 2,20	10,5 2,38	6,0 1,36	2,9 0,65	2,6 0,59	8,07	4,4	44,2	4
ARA	Torla	13,3 1,40	21,8 2,29	21,2 2,24	13,5 1,42	6,00 0,63	7,0 0,73	8,7	9,5	3,0	9
ARA	Boltaña	28,2 1,50	30,8 1,64	35,1 1,87	11,0 0,58	7,1 0,38	10,9 0,58	4,9	19,9	31,8	24
ESERA	Villanova	11,3 0,94	22,4 1,86	28,4 2,36	19,8 1,65	10,6 0,88	9,6 0,80	5,9	11,9	36,9	53
ESERA	Graus	22,5 1,18	32,8 1,72	41,0 2,15	22,4 1,17	15,3 0,80	12,8 0,67	4,6	21,5	24,1	24
CINCA	La Fortuna da	20,1 0,97	37,6 1,82	36,2 1,75	24,4 1,17	14,0 0,67	10,3 0,5	3,9	20,6	48,6	4
CINCA	Ainsa	34,7 1,04	41,0 1,20	53,9 1,62	20,8 0,60	20,3 0,61	17,4 0,52	3,09	33,2	0,0	4
CINCA	El Grado	60,6 1,20	82,7 1,64	83,6 1,66	41,0 0,81	32,6 0,64	38,3 0,76	2,5	51,5	13,1	36
CINCA	Fraga	89,7 1,16	118,9 1,54	129,1 1,67	56,2 0,76	30,7 0,40	47,5 0,61	12,2	92,9	9,7	35

4 / Réseau du Sègre :

Rivières	Stations	A	M	J	J	A	S	C	Q m3/s	Q l/s/km2	Durée d'observa- tion
NODERA de TOR	Caldas de Bohi	2,12 0,88	4,43 1,85	6,32 <u>2,63</u>	3,61 1,50	2,03 0,85	1,92 0,80	7	2,4	42,0	16
NOGUERA de TOR	Llesp	9,5 0,94	15,4 1,52	23,2 <u>2,29</u>	10,2 1,0	7,7 0,76	7,7 0,76	5	10,1	44,8	
SAN NICOLAU	Bohi	1,87 0,90	4,10 1,99	5,63 <u>2,73</u>	3,10 1,50	1,71 0,83	1,64 0,78	8,8	2,09	26,5	23
N. RIBAGOR- ZANA.	Pont de Suer	19,0 1,16	26,8 1,64	31,6 <u>1,93</u>	19,9 1,22	13,3 0,82	12,5 0,76	3,8	17,6	31,5	
N. RIBAGOR- ZANA.	La Pina- da.	24,2 1,14	34,0 <u>1,42</u>	33,4 <u>1,43</u>	22,8 0,99	17,1 0,74	15,6 0,67	2,1	22,9	13,0	23
NOGUERA de CARDOS	Lladore	8,0 1,23	14,7 <u>2,25</u>	13,2 2,02	6,2 0,95	4,8 <u>0,73</u>	4,9 0,76	4,9	5,5	48,0	15
N. PALLARESA	Pobla de Segur	45,7 1,30	68,8 <u>1,95</u>	66,6 1,89	35,9 1,02	21,2 0,60	21,8 0,69	3,2	35,2	18	
N. PALLARESA	Camarasa	48,2 0,98	55,9 <u>1,15</u>	75,0 <u>1,53</u>	48,1 0,98	33,8 0,68	38,5 <u>0,78</u>	2,7	48,9	17,4	4
ANGOUSTRINE	Angous- trine.	1,98 1,68	3,39 <u>2,87</u>	2,73 2,31	1,11 0,94	0,53 0,45	0,47 0,40	7,5	1,2	25,7	40
CAROL	Puigcer- da.	4,01 1,18	8,03 2,36	8,34 <u>2,45</u>	4,02 1,18	1,54 0,45	1,31 0,38	6,3	3,4	23,7	27
VALIRA	Seo de Urgel	10,9 1,19	23,7 <u>2,57</u>	23,1 2,50	11,3 1,23	4,8 0,49	4,3 0,46	6,2	10,1	18	44
SEGRE	Puigcerda	4,82 1,60	5,51 1,83	6,12 <u>2,04</u>	2,72 0,90	1,24 0,41	1,13 0,37	5,4	3,4	11,4	30
SEGRE	Seo de Urgel	15,3 1,30	27,5 <u>2,33</u>	24,8 2,10	11,2 0,95	5,1 0,43	4,9 0,42	5,6	12,6	10,2	40
SEGRE	Organa	43,8 1,42	61,7 <u>2,00</u>	58,0 1,88	29,8 0,97	19,2 0,62	18,5 0,60	3,3	29,3	12,3	19
SEGRE	Lerida	90,3 1,02	169 <u>1,90</u>	164 1,85	81,5 0,91	45,6 0,51	48,9 0,55	3,7	91,1	8,0	51

LE REGIME DES RIVIERES DE VERSANT IBERIQUE

Rivières	Stations	S (km2)	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2
OCA (1)	Oña	1065	Q	2,4	7,2	13,4	12,0	9,5	8,4	5,9	4,0	2,0	1,4	1,4	9,5	6,6	5,2
			c	0,36	1,09	2,03	1,83	1,71	1,44	1,27	0,89	0,61	0,20	0,21			
TIRON	Cuzcurita	698	Q	3,1	5,5	8,2	9,3	9,6	8,9	8,5	6,4	3,4	2,2	2,3	4,5	6,0	8,5
			c	0,49	0,85	1,26	1,44	1,49	1,38	1,32	0,99	0,52	0,33	0,35			
NAJERILLA	Torrementalvo	1090	Q	5,4	13,5	23,9	21,0	23,8	19,3	17,1	12,8	6,6	3,7	4,0	7,3	14,9	13,5
			c	0,36	0,91	1,61	1,41	1,61	1,30	1,15	0,87	0,45	0,25	0,27			
IREGUA	Islallana	692	Q	2,6	4,7	6,4	7,8	8,5	9,5	8,7	5,6	3,3	2,5	1,9	6	6	10,5
			c	0,43	0,77	1,05	1,27	1,39	1,54	1,42	0,92	0,55	0,41	0,31			
CIDACOS	Yanguas	223	Q	1,39	1,91	2,86	3,19	3,66	2,66	2,10	2,48	0,77	0,45	0,58	9,2	2,1	9,4
			c	0,64	0,88	1,32	1,47	1,69	1,23	0,97	1,14	0,35	0,20	0,26			

Rivières	Stations	S (km2)	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2
JILOCA	Morata	2491	Q	4,71	5,26	6,70	5,92	5,63	5,30	6,19	5,24	2,80	4,07	4,73	2,3	5,00	2
			c	0,90	1,00	1,28	1,13	1,08	1,01	1,18	1,00	0,53	0,77	0,90			
PIEDRA	Carenas	1478	Q	3,86	4,10	5,12	5,00	4,79	4,23	5,04	4,86	3,31	3,44	5,14	1,5	4,4	3
			c	0,85	0,90	1,13	1,10	1,05	1,17	1,11	1,07	0,73	0,75	1,13			
JALON	Jubera	196	Q	0,50	0,59	0,70	0,70	0,71	0,70	0,69	0,58	0,42	0,38	0,43	1,9	0,7	3,7
			c	0,85	1,00	1,18	1,18	1,20	1,18	1,17	0,98	0,71	0,64	0,73			
JALON	Huermeda	7142	Q	14,9	17	20,2	18,5	20,1	7,5	23,9	16,1	10,2	7,7	12	3,1	5,3	2,1
			c	0,90	1,03	1,23	1,11	1,23	0,6	1,47	0,91	0,60	0,44	0,71			

(1) Les observations portent sur cinq ans seulement.

LE REGIME DES RIVIERES DE VERSANT IBERIQUE

Rivières	Stations	S (km2)		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2
RUERVA	Mezatocha	620	Q	0,34	0,56	1,14	1,06	1,55	1,22	0,96	1,30	1,20	0,77	0,59	0,41	4,4	0,91	1,5
			c	0,37	0,61	1,25	1,16	1,66	1,34	1,05	1,43	1,20	0,85	0,65	0,45			
AGUAS VIVAS	Blesa	138	Q	0,35	0,38	0,79	0,85	0,91	0,68	0,39	0,86	0,45	0,18	0,43	0,35	5	0,51	3,7
			c	0,68	0,74	1,54	1,66	1,78	1,33	0,76	1,68	0,88	0,35	0,84	0,68			
MARTIN	Híjar	1419	Q	1,65	1,80	1,45	1,41	1,81	1,43	1,08	1,72	1,99	1,45	1,35	1,60	1,8	1,54	1,1
			c	1,06	1,16	0,93	0,91	1,23	0,92	0,69	1,1	1,28	0,93	0,87	1,03			
GUADALUPE	Alcaniz	3476	Q	7,09	4,88	6,98	6,95	7,57	10,4	9,50	10,8	9,49	4,61	4,49	5,50	2,4	7,29	2,1
			c	0,97	0,66	0,95	0,95	1,03	1,42	1,30	1,48	1,30	0,63	0,61	0,75			

Rivières	Stations	S (km2)		O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	$\bar{Q}$ m3/s	$\bar{q}$ l/s/km2
MATARRANA	Becete	48	Q	0,40	0,44	0,53	0,43	0,50	0,52	0,37	0,36	0,31	0,25	0,22	0,29	21	0,38	8,1
			c	1,05	1,15	1,39	1,13	1,31	1,36	0,97	0,94	0,81	0,65	0,57	0,76			

LE REGIME DE L'EBRE A DIFFERENTES STATIONS

Stations	Années d'observation	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Q	C
Arroyo	1913-14 à	Q	4,2	10,5	15,3	18,8	16,7	9,1	17,4	11,5	5,8	3,7	2,4	1,8	24
	1945-46	c	0,40	1,00	1,48	1,79	1,59	1,81	1,65	1,09	0,55	0,35	0,22	0,77	
	1945-46 à	Q	12,4	4,4	3,3	5,7	5,6	3,9	5,9	4,1	3,3	17,1	23,7	19,7	7,2
	1969-70	c	1,36	0,48	0,36	0,62	0,61	0,43	0,65	0,45	0,36	1,9	2,6	2,1	
Mirando de E	1913-14 à	Q	34,4	69,6	111,6	136,9	148,5	139,1	118,6	75,4	41,9	23,7	17,1	19,4	9,2
	1948 - 49	c	0,42	0,85	1,37	1,68	1,83	1,71	1,45	0,93	0,51	0,28	0,21	0,23	
	1948-49 à	Q	31,3	50,5	80,1	102,7	99,4	88,5	61,3	36,9	25,7	27,1	33,0	31,1	4
	1969 - 70	c	0,56	0,90	1,44	1,85	1,79	1,59	1,21	0,66	0,46	0,48	0,59	0,56	
Castejon	1918-19 à	Q	116	263	371	377	418	400	325	255	171	85	58	67	7,2
	1969 - 70	c	0,48	1,09	1,54	1,57	1,74	1,66	1,35	0,93	0,71	0,35	0,24	0,27	
Saragosse	1913-14 à	Q	112	214	379	369	421	454	339	287	166	68	24	37	17,5
	1947 - 48	c	0,47	0,89	1,59	1,55	1,76	1,9	1,42	1,2	0,69	0,28	0,10	0,15	
	1948 - 49 à	Q	124	254	412	455	454	450	351	228	159	57	47	72	9,6
	1970 - 71	c	0,54	1,12	1,82	2,01	2	1,99	1,55	1	0,25	0,20	0,31		
Tortosa	1913-14 à	Q	332	576	736	667	771	951	818	857	676	325	173	214	5,4
	1934-35	c	0,56	0,98	1,25	1,14	1,32	1,61	1,39	1,46	1,16	0,55	0,29	0,36	
	1951-52 à	Q	339	593	666	810	753	775	611	444	473	162	90	154	9
	1969-70	c	0,69	1,21	1,36	1,65	1,53	1,58	1,25	0,90	0,96	0,33	0,18	0,31	
	1913-14 à	Q	342	560	124	727	797	896	738	733	609	276	146	193	6,1
	1971 - 72	c	0,60	1,00	1,29	1,29	1,42	1,59	1,31	1,31	1,08	0,49	0,25	0,34	

LISTE DES QUINZE PREMIERES CRUES A QUATRE STATIONS DU COURS DE L'EBRE

Rang	MIRANDA DE EBRO		CASTELON		ZARAGOZA		TORTOSA	
	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)	Date
1	1500*	nov 1929	4950	31 dec 1960	4130	2 janv 1961	10 000 ?	oct 1907
2	1316	13 dec 1959	4050	16 nov 1966	3260	5 fev 1962	10 000 ?	oct 1937
3	1178	13 nov 1959	3200	14 nov 1961	3154	12 nov 1966	4 580	5 janv 1961
4	1048	2 dec 1959	3140	3 fev 1952	3150	janv 1941	4 500*	22 mars 1916
5	1016	17 dec 1962	2960	28 mai 1956	3058*	janv 1939	4 248*	22 dec 1916
6	995	1 janv 1961	2810	14 dec 1959	3042	19 dec 1930	4 160	29 janv 1960
7	892	2 janv 1968	2771	22 janv 1965	2906*	Mars 1935	3 520*	8 nov 1919
8	833	6 janv 1970	2522	18 dec 1962	2833*	29 oct 1937	3 410	7 fev 1952
9	738	24 janv 1960	2450	25 dec 1958	2790	16 dec 1959	3 333*	19 fev 1919
10	715	23 mars 1963	2439	4 janv 1968	2744	29 mai 1956	3 235	23 mai 1971
11	696	15 janv 1954	2390	13 av 1952	2570	16 nov 1961	3 219*	22 nov 1926
12	695	11 juin 1966	2310	12 fev 1954	2488	6 nov 1968	3 192*	15 jt 1923
13	694	10 nov 1966	2280	17 mars 1958	2470	13 fev 1954	3 145*	25 mai 1921
14	690	23 janv 1948	2270	16 oct 1953	2395	23 janv 1965	2 955	31 mai 1956
15	686	3 janv 1962	2188	12 dec 1965	2390	20 dec 1962	2 950	30 nov 1961

(Les débits marqués * correspondent à des moyennes journalières)

LISTE DES QUINZE PREMIERES CRUES AFFLUENTS PYRENEENS.

Rang	ARAGON Capetrous		GALLEGO Ardisa		CINCA Fraga		SEGRE Seros	
	Q (m ³ /s.)	Date	Q (m ³ /s.)	Date	Q (m ³ /s.)	Date	Q (m ³ /s.)	Date
1	2320	9 nov 1966	1200	spt 1942	2195	6 oct 1965	768	22 nov 1960
2	1030	31 ms 1913	1070	6 jn 1960	2000	6 nov 1919	733	8 nov 1965
3	1017	8 mai 1915	1000	30 spt 1949	1929	9 nov 1966	724	25 jn 1969
4	978	2 av 1928	996	9 nov 1966	1700	7 nov 1965	673	31 mai 1968
5	928	28 mai 1956	750	12 jn 1929	1570	3 oct 1963	615	25 ms 1960
6	908	22 oct 1914	700	12 jt 1923	1476	4 oct 1960	600	5 mai 1952
7	900	2 fev 1952	690	20 spt 1959	1408	23 oct 1950	596	30 jn 1953
8	883	17 jt 1923	687	5 ms 1947	1368	29 oct 1960	589	11 jn 1965
9	865	27 nov 1929	650	7 nov 1965	1336	5 mai 1964	536	18 mai 1960
10	852	jv 1970	620	28 av 1969	1274	10 ms 1962	520	24 av 1959
11	790	17 ms 1969	543	6 oct 1919	1274	4 ms 1969	520	30 mai 1956
12	780	17 ms 1958	512	24 fv 1919	1236	10 ms 1962	504	29 jv 1960
13	740	24 dec 1945	500	18 ms 1951	1236	15 jt 1960	482	17 mai 1954
14	720	7 fev 1945	500	14 ms 1969	1200	16 nov 1963	460	7 oct 1960
15	709	27 dec 1945	492	17 nov 1967	1185	28 jv 1960	446	10 nov 1966

(Période 1913-14 à 1970-71 pour l'Aragon, le Cinca, 1949-50 à 1970-71 pour le Segre à Seros).

LISTE DES QUINZE PREMIERES CRUES.

AFFLUENTS DU VERSANT IBERIQUE.

Rang	J A L O N Huermeda		G U A D A L O P E Alcañiz	
	Q (m3/s)	Date	Q (m3/s)	Date
1	340	28 mai 1956	994	24 oct 1967
2	260	30 nov 1961	644	15 oct 1957
3	225*	20 fev 1920	631	8 oct 1965
4	205*	10 mai 1925	501	17 oct 1962
5	180*	23 oct 1926	397	21 nov 1959
6	150*	12 jt 1923	200*	20 fev 1920
7	146*	8 nov 1921	280	22 oct 1951
8	143	18 nov 1967	200	24 dec 1964
9	139	24 dec 1927	176*	20 juin 1929
10	139	1 av 1924	168	2 août 1952
11	135	22 jt 1952	160	29 nov 1961
12	128	30 jv 1948	160	24 août 1917
13	126	3 jn 1954	136	21 sept 1959
14	124	mai 1971	135	7 dec 1953
15	120	3 oct 1951	120	21 jt 1955

